

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT SİSMİK KUMAŞ İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TAŞIYICI
DUVAR ELEMANLARININ ÜÇ NOKTALI KESME DENEYLERİ
İLE PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berna İSTEGÜN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erkan ÇELEBİ

Temmuz 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

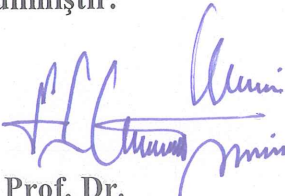
KOMPOZİT SİSMİK KUMAŞ İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TAŞIYICI
DUVAR ELEMANLARININ ÜÇ NOKTALI KESME DENEYLERİ
İLE PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

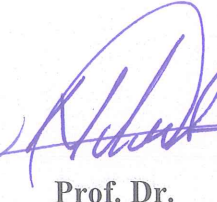
YÜKSEK LİSANS TEZİ

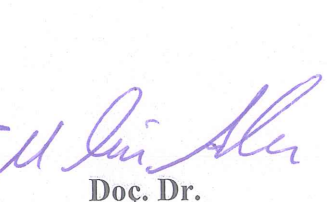
Berna İSTEGÜN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 04/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Erkan ÇELEBİ
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Naci ÇAĞLAR
Üye


Doç. Dr.
M. Emin ARSLAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Berna İSTEGÜN

04.07.2018

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında bilgisi, tecrübesi ve eleştirel bakış açısı ile beni yönlendiren, fikirlerimi önemseyerek iyi bir dinleyici olan ve akademisyenlik olgusunun duygusallıktan ziyade profesyonelliği gerektirdiğini aşıl原因an değerli hocam Prof. Dr. Erkan ÇELEBİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek motivasyon gerektiren çalışmalarım esnasında tecrübelerini ve kıymetli vakitlerini benimle paylaşan Dr. Aydın DEMİR'e, Dr. Hakan ÖZTÜRK'e, deneysel çalışmalarımın son anına kadar yardımlarıyla destek olan Arş. Gör. Kutalmış Recep AKÇA'ya teşekkür ederim. Sakarya Üniversitesi Yapı Mühendisliği yüksek lisans programı ile birlikte yürütmeye çalıştığım İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği programının ve mesleğimin getirdiği yükümlülükler sebebiyle zaman zaman hissettiğim umutsuzluk noktasında beni sürekli cesaretlendirip, teşvik ederek daima yardım eden Arş. Gör. Gökhan DOK'a teşekkürü borç bilirim. Sorumluluklarımı yerine getirmek için çabalarken; ailemden uzakta olmanın kimi zaman hissettirdiği burukluğu, anaç ve yol gösterici tavrıyla dağıtan ve güven duygusu ile hislerimi paylaşabildiğim Dr. Esra DOBRUCALI'ya teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam süresince maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Bedriye CİCA ve Gülay KÜLÜŞLÜ'ye ve laboratuvar çalışmalarında deneylerin gerçekleştirilmesine yardımcı olan 2017-2018 güz yarıyılı tasarım dersi öğrencilerine de teşekkürümü belirtmek isterim.

Eğitim hayatım boyunca beni hep destekleyen, heyecanımı paylaşan, gösterdikleri sonsuz maddi-manevi fedakârlıklar ile en büyük teşekkürü hak eden ve sahip olduğum için her gün şükrettiğim kıymetli babam Mahmut İSTEGÜN'e, annem Hüsnügül İSTEGÜN'e, kardeşlerim M.Enes-Abdulsamet İSTEGÜN'e ve teyzem Ayşe GARİP'e birkaç cümle ile ifade edemeyeceğim kadar minnettarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Yığma Yapılara Genel Bir Bakış	1
1.2. Ülkemizde Yaşanan Depremler Sonrası Gözlemler	4
1.3. Güçlendirmenin Gerekliliği ve Kullanılan Yöntemler	6
1.4. Literatür Araştırması	8
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	18

BÖLÜM 2.

YIĞMA YAPILARIN KARAKTERİSTİKLERİ	21
2.1. Kullanılan Malzemeler	22
2.1.1. Doğal taşlar	22
2.1.2. Bims	23
2.1.3. Kerpiç	23
2.1.4. Tuğla	23
2.1.5. Harç	24
2.2. Yığma Yapı Elemanları	25
2.2.1. Kemer ve tonoz yapı elemanları	25

2.2.2. Kubbe yapı elemanları	25
2.2.3. Sütun yapı elemanları	26
2.2.4. Duvar yapı elemanları	27
2.3. Yığma Yapılarda Hasar Biçimleri	27
2.3.1. Temellerde görülen hasarlar	29
2.3.2. Duvarlarda görülen hasarlar	30
2.3.3. Deprem hasarları	31
2.4. Yığma Yapılarda Hasar Ölçütleri	32
2.5. Yığma Yapılarda Güçlendirme Teknikleri	33
2.5.1. Püskürtme beton uygulaması ile güçlendirme	34
2.5.2. Çelik elemanlarla taşıyıcı duvarların güçlendirilmesi	35
2.5.3. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması ile güçlendirme	36
2.5.4. Temellerin güçlendirilmesi	37
2.5.5. Lifli polimer (LP) esaslı kompozitler ile güçlendirme	38
2.6. Yığma Yapılarda Davranış Biçimleri	42

BÖLÜM 3.

TAŞIYICI YIĞMA TUĞLA ELEMANLARIN ÜÇ NOKTALI KESME

DENEYLERİ İLE KAYMA DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ	46
3.1. Genel Bilgiler	46
3.2. Deney Programı	47
3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	48
3.3.1. Güçlendirme işlemi	50
3.4. Deney Düzeneklerinin Oluşturulması	53
3.5. Deneylerin Gerçekleştirilmesi	57
3.5.1. Ön deneyler	57
3.5.2. Deney I grubuna ait ana deneyler	58
3.5.2.1. D1R00 kodlu numunelerin test edilmesi	59
3.5.2.2. D1R01 kodlu numunelerin test edilmesi	64
3.5.2.3. D1G02 kodlu numunelerin test edilmesi	69
3.5.2.4. D1G03 kodlu numunelerin test edilmesi	76
3.5.2.5. D1G04-S kodlu numunelerin test edilmesi	82

3.5.2.6. D1G04-T kodlu numunelerin test edilmesi	86
3.5.3. Deney II grubuna ait ana deneyler	91
3.5.3.1. D1R01-Y kodlu numunelerin test edilmesi	92
3.5.3.2. D1G03-Y kodlu numunelerin test edilmesi	97

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	103
----------------------------	-----

KAYNAKLAR	107
-----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	112
----------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$A_{envelope}$: Kesme kuvveti-yer değiştirme (zarf) eğrisinin alanı
A	: Tuğla duvar-harç ara yüzey alanı
CFRP	: Karbon lifli polimer tekstil malzemesi
FRP	: Lif ilaveli polimer
GFRP	: Cam lifli polimer tekstil malzemesi
F_{max}	: Maksimum kesme kuvveti
f_v	: Numune kayma gerilmesi
f_{vm}	: Ortalama kayma dayanımı
f_{vk}	: Karakteristik kayma dayanımı
k_{el}	: Elastik rijitlik
LP	: Lifli polimer
TRM	: Tekstil donatılı harç uygulaması
σ	: Duvar düşey gerilmesi
δ_e	: Elastik yer değiştirme
δ_u	: Maksimum yer değiştirme
τ_{em}	: Duvar kayma emniyet gerilmesi
τ_o	: Duvar çatlama emniyet gerilmesi
μ_s	: Sürtünme katsayısı
μ	: Süneklik katsayısı
V_{cr}	: Çatlama yükü
V_{max}	: Zarf eğrisindeki maksimum kesme kuvveti
V_u	: Bilineer eğri üzerindeki maksimum kesme kuvveti
u_{mid}	: Numune orta nokta deplasmanı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İtalya'da yığma yapıların bölgelere göre dağılımı	1
Şekil 1.2. Yeni Zelanda'da yığma yapıların bölgesel dağılımı	2
Şekil 1.3. Ülkemizdeki yığma yapı sayısının toplam yapı sayısına oranı	2
Şekil 1.4. Yığma yapıların depremsel risk haritası taslağı	4
Şekil 1.5. İran Depremi'nde gözlemlenen yığma yapı hasarı	6
Şekil 1.6. Üçlü numune	8
Şekil 1.7. Deney düzeneği	9
Şekil 1.8. Referans bims blokların deney sonrası görünümü	10
Şekil 1.9. Güçlendirilmiş bims blokların deney sonrası görünümü	10
Şekil 1.10. Lifli polimer uygulaması	11
Şekil 1.11. Üç noktalı kesme deneyi düzeneği	11
Şekil 1.12. Set 1 , Set 2 deney numuneleri ve tuğla boyutları	12
Şekil 1.13. Numunenin güçlendirilmesi ve deney düzeneğine yerleştirilmesi	13
Şekil 1.14. Deney çerçevelerinin düzlem içi davranışının incelenmesi	14
Şekil 1.15. Duvar numunelerinin CFRP şeritlerle güçlendirilmesi	15
Şekil 1.16. CFRP şeritlerin farklı biçimlerde uygulanması	16
Şekil 2.1. Yığma yapı örneği	21
Şekil 2.2. Yığma ve karkas yapılarda kullanılan dolgu malzemelerinin dağılımı	22
Şekil 2.3. Kemerli yapı örneği	25
Şekil 2.4. Şanlıurfa-Harran'da bulunan kubbeli yapılar	26
Şekil 2.5. Sütun yapı elemanı	27
Şekil 2.6. 2003 Bingöl Depremi'nde yığma bir yapının oturma kaynaklı göçmesi ..	29
Şekil 2.7. Yığma duvarda göçme mekanizmaları ve çatlak tipleri	30
Şekil 2.8. Rijit kat döşemeli yığma yapıda deprem hasarı	31
Şekil 2.9. Esnek kat döşemeli yığma yapıda deprem hasarı	32
Şekil 2.10. Püskürtme beton uygulaması	34

Şekil 2.11. Gergi donatıları ile güçlendirme uygulaması	35
Şekil 2.12. Sütun elemanların çelik çemberler ile güçlendirilmesi	36
Şekil 2.13. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması ile güçlendirme	37
Şekil 2.14. Yığma yapı temel güçlendirmesi	38
Şekil 2.15. LP çubuk ile güçlendirme	39
Şekil 2.16. LP çubuğun yerleştirilme detayı	39
Şekil 2.17. CFRP uygulaması ile güçlendirme	40
Şekil 2.18. Cam fiber kaplama ile güçlendirme	40
Şekil 2.19. TRM uygulaması ile güçlendirme	41
Şekil 2.20. LP kumaş ile güçlendirme	41
Şekil 2.21. Yığma elemanların çekme ve basınç gerilmesi etkisindeki davranışı	42
Şekil 2.22. Kesme kuvveti etkisindeki yığma yapıların mekanik davranışı	43
Şekil 2.23. Farklı lifli polimer uygulamasının yığma eleman davranışına etkisi	44
Şekil 2.24. Kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin bilineer hale getirilmesi	44
Şekil 2.25. Zarf eğrisinin bilineer duruma getirilmesi	45
Şekil 3.1. Yığma tuğla duvar elemanı	48
Şekil 3.2. Deney I grubuna ait üçlü numunelerin hazırlanması	49
Şekil 3.3. Kum sıvalı numunelerin hazırlanması	50
Şekil 3.4. Deney II grubuna ait üçlü numuneler	50
Şekil 3.5. Hibrit deprem kumaşı ve sıvadan oluşan güçlendirme sistemi.....	51
Şekil 3.6. Tip S sıva vasıtasıyla güçlendirilen numunelerin hazırlanması.....	52
Şekil 3.7. Tip T sıva vasıtasıyla güçlendirilen numunelerin hazırlanması	52
Şekil 3.8. Deneyleerin gerçekleştirildiği basma-çekme test cihazı.....	53
Şekil 3.9. Deney I grubuna ait deney düzeneğinin şematik gösterimi	54
Şekil 3.10. Deney II grubuna ait deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	55
Şekil 3.11. Deney düzeneğinde kullanılan metal levhaların görünümü ve boyutları	55
Şekil 3.12. Deney II grubuna ait testlerde kullanılan gerinim ölçerler	56
Şekil 3.13. Harç dayanımlarının belirlenmesi için numunelerin hazırlanması	57
Şekil 3.14. Derz harcının eğilme ve basınç dayanımlarının belirlenmesi.....	57
Şekil 3.15. Yığma tuğlanın basınç dayanımının belirlenmesi	58
Şekil 3.16. D1R00-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	59
Şekil 3.17. D1R00-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	60

Şekil 3.18. D1R00-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	61
Şekil 3.19. D1R00-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	61
Şekil 3.20. D1R00-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	62
Şekil 3.21. D1R00-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	63
Şekil 3.22. D1R01 setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması	64
Şekil 3.23. D1R01-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	65
Şekil 3.24. D1R01-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	66
Şekil 3.25. D1R01-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	66
Şekil 3.26. D1R01-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	67
Şekil 3.27. D1R01-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	68
Şekil 3.28. D1R01-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	68
Şekil 3.29. D1R01 setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması	69
Şekil 3.30. D1G02-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	70
Şekil 3.31. D1G02-1 kodlu numunenin deney sonrası görünümü	71
Şekil 3.32. D1G02-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	71
Şekil 3.33. D1G02-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	72
Şekil 3.34. D1G02-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	73
Şekil 3.35. D1G02-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	73
Şekil 3.36. D1G02-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	74
Şekil 3.37. D1G02 setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması	75
Şekil 3.38. D1R00 ve D1G02 setlerinin karşılaştırılması	76
Şekil 3.39. D1G03-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	76
Şekil 3.40. D1G03-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	77
Şekil 3.41. D1G03-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	78
Şekil 3.42. D1G03-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	79
Şekil 3.43. D1G03-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	79
Şekil 3.44. D1G03-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	80
Şekil 3.45. D1G03 setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması	80
Şekil 3.46. D1R00 ve D1G03 setlerinin karşılaştırılması	81
Şekil 3.47. D1R00, D1G02 ve D1G03 setlerinin karşılaştırılması	82
Şekil 3.48. D1G04-S-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	83
Şekil 3.49. D1G04-S-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	83

Şekil 3.50. D1G04-S-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	84
Şekil 3.51. D1G04-S-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	84
Şekil 3.52. D1G04-S setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması.	85
Şekil 3.53. D1R00 ve D1G04-S deney setlerinin karşılaştırılması.....	86
Şekil 3.54. D1G04-T-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	86
Şekil 3.55. D1G04-T-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	87
Şekil 3.56. D1G04-T-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	88
Şekil 3.57. D1G04-T-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	88
Şekil 3.58. D1G04-T-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü	89
Şekil 3.59. D1G04-T-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi	89
Şekil 3.60. D1G04-T setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması	90
Şekil 3.61. D1R00 ve D1G04-T deney setlerinin karşılaştırılması.....	91
Şekil 3.62. D1R00, D1G04-T ve D1G04-S deney setlerinin karşılaştırılması	91
Şekil 3.63. D1R01-Y-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü.....	93
Şekil 3.64. D1R01-Y-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi.....	93
Şekil 3.65. D1R01-Y-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü.....	94
Şekil 3.66. D1R01-Y-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi.....	94
Şekil 3.67. D1R01-Y-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü.....	95
Şekil 3.68. D1R01-Y-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi.....	95
Şekil 3.69. D1R01-Y setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması	96
Şekil 3.70. D1G03-Y-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü.....	97
Şekil 3.71. D1G03-Y-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi.....	98
Şekil 3.72. D1G03-Y-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü.....	98
Şekil 3.73. D1G03-Y-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi.....	99
Şekil 3.74. D1G03-Y-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü.....	99
Şekil 3.75. D1G03-Y-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi.....	100
Şekil 3.76. D1G03-Y setinin kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması..	100

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Doğal yapı taşlarının ortalama mekanik özellikleri	23
Tablo 2.2. Serbest basınç dayanımı bilinmeyen duvarların σ değerleri	28
Tablo 2.3. Duvarların Çatlama Emniyet Gerilmeleri	28
Tablo 2.4. Yığma yapılar için hasar ölçütleri	33
Tablo 3.1. Deney I grubunda bulunan numunelerin özellikleri	47
Tablo 3.2. Deney II grubunda bulunan numunelerin özellikleri.....	48
Tablo 3.3. Tuğla eleman katalog değerleri.....	49
Tablo 3.4. Harcın 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı.....	58
Tablo 3.5. D1R00 seti için hesaplanan mekanik büyüklükler	64
Tablo 3.6. D1R01 seti için hesaplanan mekanik büyüklükler	69
Tablo 3.7. D1G02 seti için hesaplanan mekanik büyüklükler	75
Tablo 3.8. D1G03 seti için hesaplanan mekanik büyüklükler	81
Tablo 3.9. D1G04-S seti için hesaplanan mekanik büyüklükler.....	85
Tablo 3.10. D1G04-T seti için hesaplanan mekanik büyüklükler	90
Tablo 3.11. D1R01 ve D1R01-Y setleri için hesaplanan mekanik büyüklükler.....	96
Tablo 3.12. D1G03 ve D1G03-Y setleri için hesaplanan mekanik büyüklükler	101
Tablo 3.13. Tüm deneylere ait sonuçların karşılaştırılması	102

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Sismik tekstil, tuğla duvar, güçlendirme, üç noktalı kesme deneyi, yapıştırma sıvası

Bu çalışmada, özel geliştirilmiş kompozit sismik tekstil malzemesi kullanılarak güçlendirilen ve güçlendirme olmaksızın ele alınan düşey boşluklu tuğla duvar elemanlarının kesme gerilmeleri altındaki mekanik davranışları ve çatlak modelleri deneysel olarak incelenmiştir. Bahsi geçen güçlendirme işlemi; alkali dirençli cam ve polipropilen lif esaslı çok eksenli sismik tekstil malzemesinin, düşey boşluklu tuğla duvar elemanları ile oluşturulan deney numunelerinin yüzeylerine tek veya çift taraflı uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. İlgili sismik kumaşın numune yüzeyine uygulanabilmesi için farklı tip iki yapıştırma sıvası kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı sıva; bir diğeri ise genişletilmiş cam kürecik esaslı sıvadır. Deneysel çalışma için 24 adet üçlü tuğla numune üretilmiş ve tüm numunelere üç noktalı kesme deneyi uygulanmıştır. Bu numunelerden 6 tanesi, deprem kumaşının beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı sıva ile tek veya çift taraflı uygulanması şeklinde üretilirken; 9 adet örnek ise sismik tekstil malzemesinin genişletilmiş cam kürecik esaslı sıva ile numune yüzeyine yapıştırılmasıyla güçlendirilmiştir. Kalan numunelerden 6'sı kum sıva ile sıvanarak deprem kumaşı kullanılmadan üretilmiş ve tipik kum sıva uygulamasının tuğla elemanın mekanik davranışına etkisi de araştırılmıştır. Geriye kalan 3 numune ise güçlendirme ve kum sıva uygulaması olmaksızın hazırlanıp, referans olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmadaki tüm deneyler Sakarya Üniversitesi'nin Teknoloji Fakültesi'ne bağlı yapı malzemesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, düşey yük kapasitesi 50 kN ve yükleme hızı 1,5 mm/dk olan basma-çekme test cihazı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde, numunelere düşey yönde yükleme yapılarak ilgili numuneler harç-tuğla arayüzeyinden kaymaya zorlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, tüm numuneler için kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi bakımından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sismik kumaş ve yüzey bağlayıcı özel sıvaların bir kombinasyonu olan güçlendirme sistemi, numunelere ait kayma mukavemeti ve süneklik kapasitesini önemli ölçüde arttırarak numunelerin aniden göçmelerini engellemiştir. Ancak, güçlendirme kumaşı kullanılmadan üretilen referans ve kum sıvalı deney numunelerinde gevrek kırılmalar ile göçme moduna ulaşılmış; numuneler kayma dayanımı ve enerjiyi sönümleyebilme parametreleri bakımından yetersiz kalmışlardır.

EVALUATION OF PERFORMANCES VIA TRIPLET SHEAR TESTS OF LOAD BEARING MASONRY BLOCKS RETROFITTED WITH COMPOSITE SEISMIC TEXTILE

SUMMARY

Keywords: Seismic textile, brick block, retrofitted, triplet shear test, adhesive plaster

In the thesis, an experimental study was conducted to investigate mechanical behavior and crack patterns of perforated brick block masonry under shear stresses. For that objective, unstrengthened or strengthened specimens by using specially developed composite seismic textile material were taken into account. As a strengthening application; alkali-resistant glass and polypropylene fiber-based multi-axis seismic textile materials were applied to surfaces of test specimens either singly or bilaterally. In order to apply the relevant seismic fabric to specimen surfaces, two different types of bonding plasters were used. The first one was white cement and natural water lime based and the other was an expanded glass granules based plaster. Additionally, 24 brick specimens were produced in the experimental study and a triplet shear test was performed. While 6 of the specimens were produced by applying white cement and natural water lime based plaster, 9 specimens were retrofitted with expanded glass granular-based plaster. Moreover, 6 of the remaining samples were pargeted with sand plaster (without using the earthquake fabric) and the effect of typical sand plaster application on mechanical behavior of brick elements was also investigated. The remaining of 3 were prepared without application of retrofit and sand plaster and determined as reference specimens as well. All tests were carried out in Building Materials Laboratory of Technology Faculty of Sakarya University. In the experimental work, a compression-tensile test device with vertical load capacity of 50 kN and loading speed of 1,5 mm / min was used. The specimens were loaded vertically to occur slip between mortar-brick interfaces. Results of the study are given comparatively in terms of shear-displacement relationship. Consequently, it was deduced that the strengthening type a combination of seismic fabric and surface-binding plasters increases shear strength and ductility capacity of perforated brick blocks. However, the unstrengthened specimens were performed insufficient behavior in terms of those parameters.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Yığma Yapılara Genel Bir Bakış

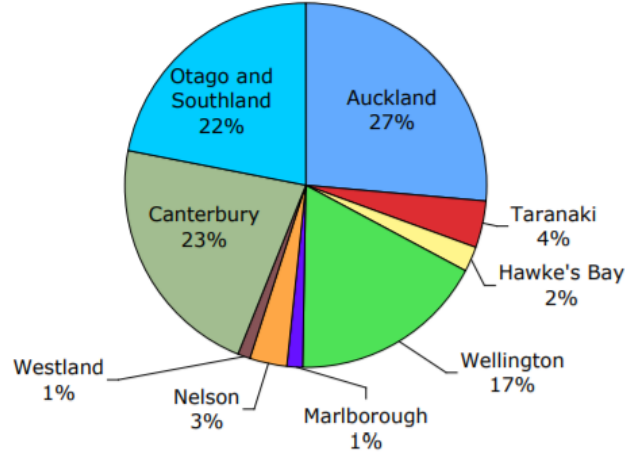
Yığma yapılar; taşıyıcı elemanları duvarlar, döşemeler, hatıllar ve temeller olan; genellikle harçla bir araya getirilerek birbirine bağlanan münferit elemanların oluşturduğu sistemlerdir. Yığma duvar elemanları antik çağlardan günümüze uzanan geçmişle neredeyse 19. yüzyıla kadar dünyanın birçok yerinde inşaat sektörünün temelini oluşturan ve hala kullanılan en eski geleneksel yapı malzemelerindedir. Söz konusu birimlerin harçla birbirine yapıştırılarak bir araya getirilmesi, kalifiye işçiliğin şart olmaması sebebiyle insanlık tarihi boyunca sık karşılaşılan bir teknik olarak kendini göstermiştir. Örneğin İtalya'da yığma yapılar mevcut yapıların %62'sini oluşturmaktadır olup Şekil 1.1.'de dağılımı görülmektedir [1, 2].



Şekil 1.1. İtalya'da yığma yapıların bölgelere göre dağılımı [2]

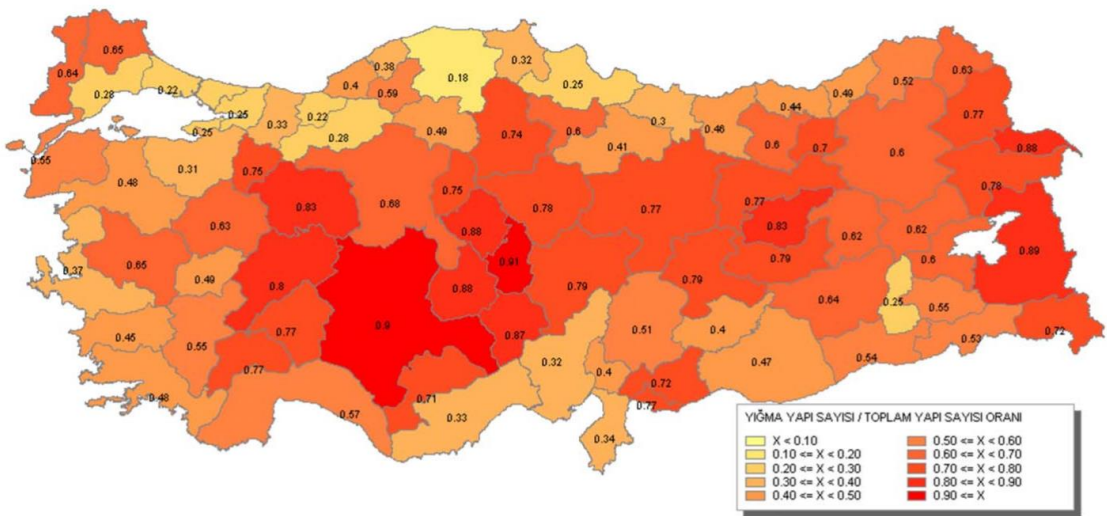
Kuzey Afrika'nın en büyük ülkesi olan Cezayir'de %43'ünü [3], Yunanistan'da ise % 47'sini [4] oluşturmaktadır. Dünya'nın Türkiye'ye göre en doğusunda bulunan ve

bir ada ülkesi olan Yeni Zelanda'da yağma yapıların bölgelere göre dağılımı Şekil 1.2.'de verilmiştir [5].



Şekil 1.2. Yeni Zelanda'da yağma yapıların bölgesel dağılımı [5]

Ülkemizde de mevcut yapı stokunun büyük bir bölümünü (%51) oluşturan yağma yapılar; özellikle kırsal bölgelerde yaygın olarak bulunmalarının yanı sıra, geçmişten günümüze taşınan ve kültürel değerlerimizin önemli bir parçası olan tarihi birçok yapıyı da kapsamaktadır (Şekil 1.3.). Roma, Bizans, Osmanlı İmparatorluğu gibi çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan Türkiye'nin farklı bölgelerinde çok değerli tarihi binalar, surlar, camiler, kervansaraylar, kiliseler bulunmaktadır.



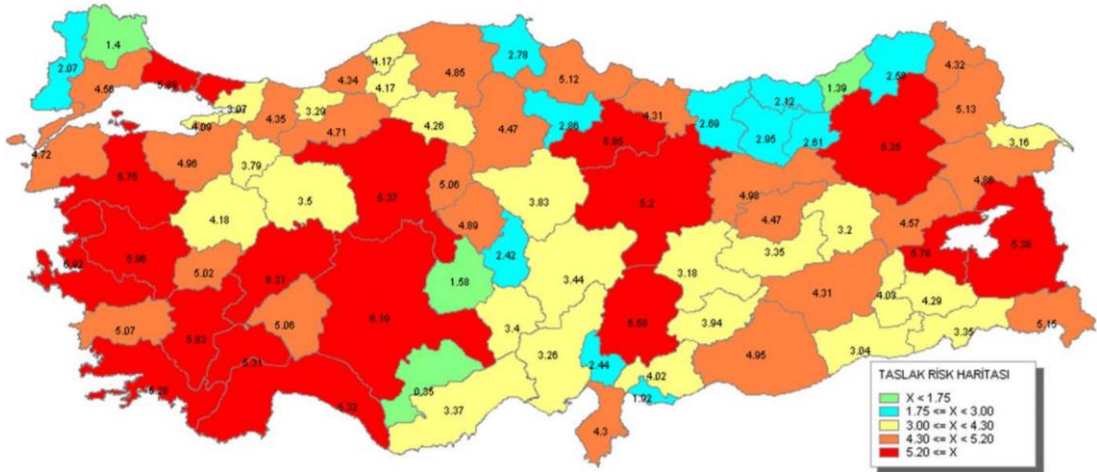
Şekil 1.3. Ülkemizdeki yağma yapı sayısının toplam yapı sayısına oranı [6]

Az gelişmiş ülkelerde, kırsal bölgelerde ya da şehirlerin gecekondu banliyölerinde bulunan yapıların çoğu; mesken sahipleri tarafından taş, tuğla, briket gibi elemanlar kullanılarak yığma türde inşa edilmiş olup tahmin edileceği üzere mühendislik hizmeti almamıştır. Genellikle tuğla elemanlar ile örülen yığma yapılarda kullanılan malzeme türü, geometrisi, dayanımı ve boşluk oranı büyük önem arz etmektedir. Günümüzde özellikle hafif ve yüksek mukavemetli düşey delikli fabrika tuğlaları taşıyıcı duvar yapımında tercih edilmektedir. Bu açıdan bina ağırlığını azaltan delikli tuğlaların ve bu tuğlalar ile yapılan duvarların incelenmesi önemlidir. Betonarme yapılar ile karşılaştırıldıklarında tuğla yığma yapıların deprem esnasındaki davranışı yatay yük taşıma kapasitesi bakımından zayıftır. Tuğla bloklar ve bağlayıcı harçlar gevrek yapı elemanları olduklarından bu malzemeler kullanılarak inşa edilen yığma tarzda yapıların sünek davranmasını beklemek gerçekçi değildir. Betonarme gibi donatılı yığma olarak yapılmaları durumunda enerji yutma kapasitelerinde bir miktar artış olmakla birlikte kalıcı şekil değiştirmeler ile deprem enerjisini tüketme kapasiteleri, betonarme yapılara göre çok azdır. Bu sebeple ülkemizde 1. derece deprem bölgelerinde zemin ve birinci kat olmak üzere en çok iki katlı yapılabilirken; 2. ve 3. derece deprem bölgelerinde üç katlı, 4. derece deprem bölgelerinde ise dört katlı yapılabilirler.

Bu çalışmanın temel çıkış noktası, dünyanın birçok bölgesinde ve ülkemizde göz ardı edilemeyecek oranda bulunan yığma yapıların varlığını koruyabilmesi ve özellikle büyük çoğunluğunu tarihi değeri olan yapıların oluşturduğu bu mirasın gelecek nesillere aktarılabilmesidir. Burada odaklanılan ve çözüm getirilmek istenen esas problem, olası yer hareketlerinin mevcut ve yeni yapılacak olan yığma yapılar üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilerdir. Geçmişten günümüze meydana gelen ve Bölüm 1.2.'de detaylı olarak ifade edilen çeşitli depremlerin yığma yapılara verdiği büyük zararların minimum düzeye indirilmesi için deprem performansını iyileştirecek bir yöntem küçük ölçekli deneyler kapsamında test edilmiş ve aktif deprem kuşağında bulunan ülkemiz için her zaman var olacak olan depremsellik probleminin yığma türde yapılarda meydana getireceği olası hasarlara çözüm niteliğinde bir yöntem deneysel olarak araştırılmıştır.

1.2. Ülkemizde Yaşanan Depremler Sonrası Gözlemler

Ülkemizde Doğu ve İç Anadolu'nun kırsal bölgeleri başta olmak üzere yığma türde ciddi bir yapı stoku bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu tarafından gerçekleştirilen bina sayım sonuçlarına bakıldığında, toplam yapı sayısına göre bu oranın %51 dolaylarında olduğu görülmektedir. Son yıllarda meydana gelen büyük depremlerin sebep olduğu ölümler ve ağır yaralanmaların çoğu, özensiz ve mühendislik açısından gerekli sayısal hesaplamalar yapılmadan inşa edilen yığma yapı duvarlarının hasar görmesi veya çökmesi kaynaklıdır. Yığma yapıların depremsel risk haritasına ait taslak Şekil 1.4.'te verilmiştir. Kronolojik olarak ülkemizde yaşanan bazı depremleri incelediğimizde yığma yapıların çeşitli tekniklerle kapasitelerinin artırılması konusu göz ardı edilemeyecek bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 1.4. Yığma yapıların depremsel risk haritası taslağı [6]

Örneğin; 7,2 büyüklüğündeki 1970 Gediz Depremi'nde 9473 bina ağır hasar almış veya yıkılmıştır. Bu yapıların büyük çoğunluğu mühendislik hizmeti görmeden inşa edilmiş yığma türde konutlardır.

2003 Bingöl Depremi; 1 Mayıs 2003 tarihinde 6,4 büyüklüğünde gerçekleşmiş ve ciddi seviyede yapısal hasar meydana gelmiştir. 177 kişinin ölümüne sebep olan

depremde, toptan göçen ve ağır hasara uğrayan bina oranı %30'lara ulaşmış, bunların büyük çoğunluğunu da kırsal yığma yapılar oluşturmuştur [7].

2005 Hakkâri Depremi; 25.01.2005 tarihinde yaşanan ve büyüklüğü 4,2 ile 5,5 arasında değişiklik gösteren 4 ana depremden oluşmuştur. 2 vatandaşın ölümüne, 510 yapının ağır, 620 yapının orta ve 550 yapının az hasar görmesine sebep olan olayda ağır ve orta hasarlı yapıların %90'ı herhangi bir mühendislik hizmeti almamış yığma türden inşa edilen yapılardır. Bu yapıların çoğu, geleneksel türde moloz taş ile çamur harçlı toprak, kerpiç ve dayanımı oldukça düşük ponzadan imal edilen boşluklu briketlerden inşa edilmiştir [8].

2010 Elazığ Depremi, 08.03.2010'da Elazığ'ın Karakoçan ilçesine bağlı Başyurt beldesinde 6,0 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Depremde ağır hasar alan 390 yapının büyük çoğunluğunu yığma yapılar oluşturmaktadır [9].

2011 Van-Erciş Depremi sonrası bölgede yürütülen saha çalışmalarında hafif ve orta hasarlı yapıların birçoğunun doğal taş ve delikli kil tuğla karışımı kullanılarak inşa edilen yığma türde yapılar olduğu gözlemlenmiştir. Delikli kil tuğla malzemenin zayıflığından ve kırılman olmasından dolayı söz konusu yapıların deprem davranışlarının zayıf olduğu sonucuna varılmıştır. Birçok durumda, deprem etkisi altında kil elemanların harçtan evvel dayanımlarını yitirdikleri tespit edilmiştir [10].

Ayrıca son on yılda dünyada meydana gelen bazı depremler incelendiğinde yığma yapıların sismik performanslarının artırılması zorunluluğu, evrensel bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin İtalya'da 2016-2017 yılları arasında gerçekleşen ve moment büyüklüğü 5 ve 6,5 arasında değişen 9 adet deprem sonrası ülkenin çeşitli bölgelerinde bulunan yığma tarzda yapıların yaklaşık %80'i ciddi derecede hasar almıştır [11]. Benzer şekilde yığma yapı stoğunun yaklaşık %60 olduğu İran'da 12 Kasım 2017'de yaşanan 7,3 büyüklüğündeki depremde yığma yapı elemanları arasında kullanılan harç dayanımının yetersiz olması, niteliksiz malzeme kullanımı ve kötü işçilik gibi sebeplerden ötürü büyük hasarlar gözlemlenmiştir [12]. Şekil 1.5.'de söz konusu deprem sonucu ağır hasar alan yığma bir yapı verilmiştir.



Şekil 1.5. İran Depremi'nde gözlemlenen yığma yapı hasarı [12]

1.3. Yığma Yapılarda Güçlendirmenin Gerekliliği ve Kullanılan Yöntemler

Geçmiş yıllarda meydana gelen depremler incelendiğinde yığma tarzda inşa edilen yapıların; sünek davranıştan yoksun ve ağır olmaları gibi özelliklerinden ötürü, gelen deprem kuvvetleri etkisinde dayanım açısından oldukça yetersiz kaldıkları görülmektedir. Bu durumun olası bir depremde yaratacağı maddi ve manevi kayıpları minimum seviyeye düşürmek için özellikle deprem bölgelerindeki mevcut yapıların yatay yük taşıma kapasiteleri ile birlikte yeterli sismik kayma dayanımına da sahip olmaları gerekmektedir. Ayrıca yığma yapı stokunun büyük çoğunluğunu oluşturan tarihi yapıların maruz kaldıkları çeşitli doğal afetler, savaşlar, klimatolojik olaylar ve negatif çevre koşulları sebebiyle önemli bir bölümünün yok olması; hala varlığını sürdüren ve gerekli önlemler alınmazsa kaybedilecek olan bu öğeleri, dokularını bozmayacak ve kimliklerinden bir şey eksiltmeyecek şekilde hakkıyla koruma altına almayı gerekli kılmıştır. Bütün bu sebepler, büyük bir bölümü deprem kuşağında bulunan Türkiye'de yığma yapılar üzerinde gerçekleştirilmesi gereken çalışmaların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir.

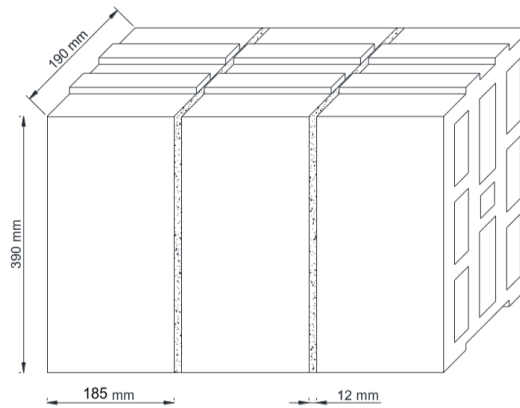
Güçlendirme, herhangi bir yapıda taşıyıcı sisteminin tümüne ya da bazı elemanlarına dayanım ve şekil değiştirme özelliklerini iyileştirmek için uygulanan çeşitli işlemler bütünüdür. Gelişen teknoloji ile birlikte neredeyse her türde taşıyıcı sistemin mevcut performansının artırılabilmesine yönelik birçok güçlendirme tekniğine rastlamak

mümkündür. Enerji yutma kapasiteleri ve çekme dayanımları düşük olan mevcut yığma yapıların deprem performanslarının artırılması konusunda güçlendirme önem kazanmaktadır. Yığma yapılarda taşıyıcı olan duvarların mekanik davranışını iyileştirmeye yarayan çeşitli yöntemlerin varlığından bahsedilebilir. Hasır donatı ağı üzerine püskürtme beton uygulaması bu yöntemlerden biridir. Fakat kullanılan beton harcının sünekliliği ve elastisite modülünün mevcut duvar harcından çok farklı olması, iki malzeme arasında bir uyum problemine sebep olmaktadır. Takviye amaçlı kullanılan beton harcı, yığma duvarda ek ağırlık oluşturmakta ve duvarın rijitliğini arttırarak homojenliğini bozmaktadır. Yapıda artan ağırlık ile birlikte yapı sistemine deprem durumunda daha fazla kuvvet etki etmektedir. Perde veya kolon şeklindeki betonarme elemanların yığma duvarlara dışardan bir ek şeklinde uygulanması da bir başka güçlendirme metodudur. Fakat ilave edilen bu elemanlar ile mevcut duvarın birleşim bölgelerinde büyük problemler oluşabilmektedir. Yığma duvara göre çok daha rijit olan ilgili elemanlar, depremlerde oldukça büyük dış kuvvetleri üzerlerine çekmektedir. Yığma duvarların betona kıyasla rijitliğinin az olması, birleşim bölgelerinde oluşan büyük kuvvetlere karşı kararsızlık oluşmasına sebep olmakta ve sistem bu bölgelerde dayanımını kaybetmektedir. Tüm bu sebeplerden ötürü yığma duvarlara betonarme elemanlar ilave edilerek yapılan güçlendirmeler çok uygun olmamaktadır. Diğer bir seçenek de son yıllarda popüleritesi artan tekstil malzemeler ile güçlendirme uygulamasıdır. GFRP, CFRP, FRC vs. olarak adlandırılan farklı içeriklere sahip güçlendirme kumaşlarının, tekrarlı ve monotonik yüklemeye maruz bırakılan duvar numunelerinde kayma dayanımı ve deformasyon yapabilme yeteneğini arttırdığı yapılan bazı çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Tekstil kompozitler 1980'den bu yana betonarme veya yığma yapı elemanlarının güçlendirilmesi için kullanılsa da, bilhassa son dönemlerde kullanıma sıklığı oldukça artış göstermiştir [13]. Kolay ve hızlı uygulanabilirliği, kesitin ince olması sebebiyle yapıya ek ağırlık getirmemesi, korozyon gibi yapıyı negatif etkileyen durumlara karşı dayanıklılığı, yığma duvar birimlerine olan aderansının yeterliliği ve yatay yüklere karşı davranışının iyi olması gibi nedenlerden ötürü söz konusu güçlendirme tekniğinin oldukça pratik ve etkin bir metot olduğu ifade edilebilir. Fakat etkili bir güçlendirme ölçütü ve ilgili yönetmeliklerin hazırlanabilmesi açısından sismik tekstil malzemesiyle iyileştirmenin deneysel olarak araştırılması ve

analitik çözümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma ile deprem kumaşı kullanılarak güçlendirilen yığma birimler lokal düzeyde incelenerek ileride gerçekleştirilecek büyük ölçekli çalışmalar için bir çeşit kaynak hazırlamak amaçlanmış ve elde edilen bulgular ile güçlendirmenin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

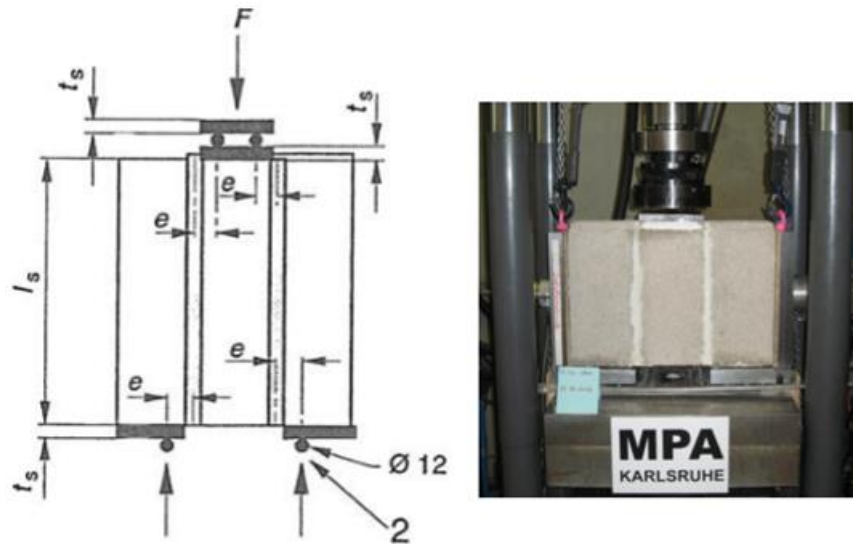
1.4. Literatür Araştırması

DAAD ve Sakarya Üniversitesi tarafından desteklenen; L. Stempniewski ve E. Çelebi danışmanlığında yürütülen bir proje kapsamında Rizzo [14], Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü laboratuvarında yapıların deprem performansını artırmak için on yıllık bir çalışma sonucu geliştirilen alkali dirençli cam ve polipropilen esaslı, hibrit ve çok eksenli özel bir sismik kumaş [15, 16] ile bir dizi deneysel çalışma yapmıştır. Gerçekleştirilen çalışmaların bir bölümünde 190x390x185 mm ölçülerindeki bims duvar elemanları kullanılarak üretilen 6 adet deney numunesinin üç noktalı kesme testleri altında mekanik davranışı incelenmiştir. Bu numunelerden 3 tanesi, yukarıda bahsi geçen özel tekstil malzemesinin her iki yüzeye de tatbik edilmesi suretiyle güçlendirilmiştir. Bu uygulama yapılırken beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı bir yapıştırma sıvası kullanılmıştır. Kalan 3 adet numune ise kontrol grubu olarak dikkate alınmıştır. Üretilen her bir numune 3 adet bims elemanın kireç esaslı çimento harcıyla bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 1.6.). Söz konusu harcın çimento, kireç ve kum hacimsel oranı 1:3:6 olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 1.6. Üçlü numune [14]

Bütün deneyler klasik basma-çekme test cihazında gerçekleştirilmiş olup yükleme protokolü dakikada 1,5 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 1.7.'de verilen deney düzeneğinden anlaşılacağı üzere ortadaki bims blok derz noktalarından kaymaya zorlanarak yatay deprem etkisi temsil edilmek istenmiştir. Düşey kuvvetin uygulandığı yüzeyin pürüzlü olması sebebiyle düzgün aktarılamayacak yük dağılımını engellemek için yüzey sıva ile pürüzsüz hale getirilmiş ve yükü eşit şekilde yaymak amacıyla 12 mm kalınlığında bir metal levha orta bims üzerine yerleştirilmiştir. Ayrıca eğilme momentinin etkilerini önemli derecede azaltmak için iki adet L profil kullanılarak numunenin sağ ve solunda bulunan bims duvar elemanları bu köşebentler arasına yerleştirilmiştir. Bu profillere entegre edilen yük hücreleri ile 0,2 MPa'lık bir yatay gerilme oluşturulmuş ve test numuneleri kesme etkisinde incelenirken basınç kuvvetinin etkileri de ihmal edilmemiştir.



Şekil 1.7. Deney düzeneği [14]

Çalışmanın ilk aşamasında referans numuneler test edilmiş ve numunelerin mekanik davranışı maksimum kesme kuvveti ve yer değiştirme ilişkisi bakımından karşılaştırmalı olarak ifade edilmiştir. Güçlendirilmemiş numunelere ait ortalama kesme kuvveti değeri 52 kN ve bu değere karşılık gelen ortalama deplasman miktarı ise 4 mm olarak ölçülmüştür. Kontrol grubunda bulunan bütün numunelere ait göçme mekanizması, ortadaki bims blokta başlayan çatlakların genişlemesi ve bims elemanın sağ ve sol derz düzleminde aşağı doğru kayması ile karakterize edilmiştir (Şekil 1.8.).



Şekil 1.8. Referans bims blokların deney sonrası görünümü [14]

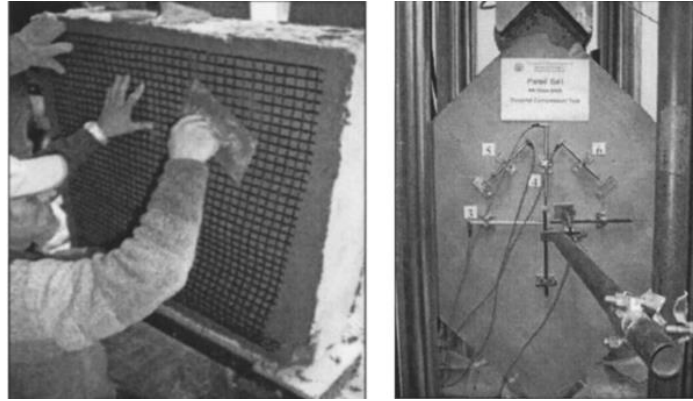
Deneysel çalışmanın ikinci evresinde ise 1 cm kalınlığında sıva yardımıyla çift taraflı olarak numune yüzeyine uygulanan sismik kumaşın, bims elemanlardan oluşturulan üçlü numunelere ait kesme performansını ne ölçüde iyileştirdiği araştırılmış ve taşınabilen ortalama kesme kuvveti değeri 85 MPa olarak belirlenmiştir. Burada deprem kumaşı ve yapıştırma sıvasının bir kombinasyonu olan güçlendirme işleminin kesme kapasitesini %65 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte her iki güçlendirilmiş yüzeyde oluşan eğik çatlaklar ve dış bloklarda meydana gelen geniş dikey çatlaklar ile numune bünyesindeki enerji sönmülenerik kontrol grubunun aksine sünek bir kırılma gerçekleşmiş ve numune bütünlüğü bozulmamıştır (Şekil 1.9.).



Şekil 1.9. Güçlendirilmiş bims blokların deney sonrası görünümü [14]

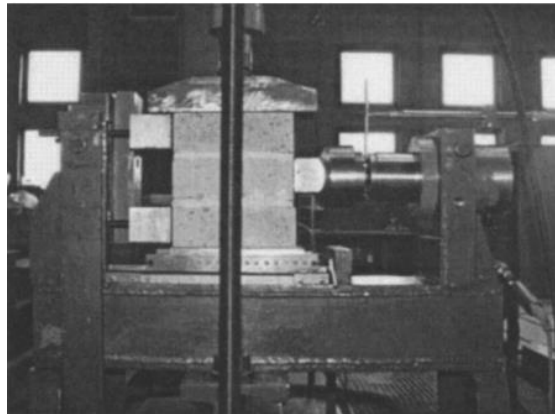
Prota ve ark. [17], Akdeniz ülkelerinde bulunan ve genellikle sünger taşı kullanılarak inşa edilen tarihi yapıların deprem davranışını incelemek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Üretilen 12 adet numunenin 4 tanesi kontrol grubu olarak tasarlanmıştır. Kalan 8 adet numune ise çimento veya cam lif esaslı harç vasıtasıyla yüzeylerine ağ şeklinde yapıştırılan cam lifli polimerler ile güçlendirilerek

bu numunelerin diyagonal yükleme altında kayma dayanımları araştırılmıştır (Şekil 1.10.). Lifli polimer numunenin tek veya çift yüzüne bir veya iki tabaka şeklinde uygulanarak çeşitli kombinasyonlar oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalar, numunenin her iki yüzeyine çift tabaka cam lifli polimer uygulandığında kayma dayanımı ve enerji yutma kapasitesi gibi mekanik özelliklerde önemli bir artış meydana geldiğini göstermiştir. Tek taraflı güçlendirilen numunelerde oluşan düzlem dışı deformasyonlar gevrek göçme modlarına sebep olmuştur.



Şekil 1.10. Lifli polimer uygulaması [17]

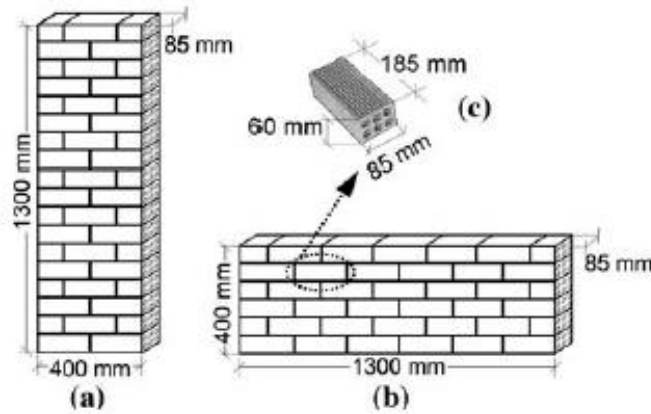
Ayrıca 180x100x60 mm boyutlarında üç sünger taşının 10 mm kalınlığındaki çimento harcı ile bir araya getirilmesi ile oluşturulan 3 adet numune üzerinde üçlü kesme testleri yapılarak yığma eleman ve harç ara yüzeyindeki kayma davranışı incelenmiştir (Şekil 1.11.).



Şekil 1.11. Üç noktalı kesme deneyi düzeneği [17]

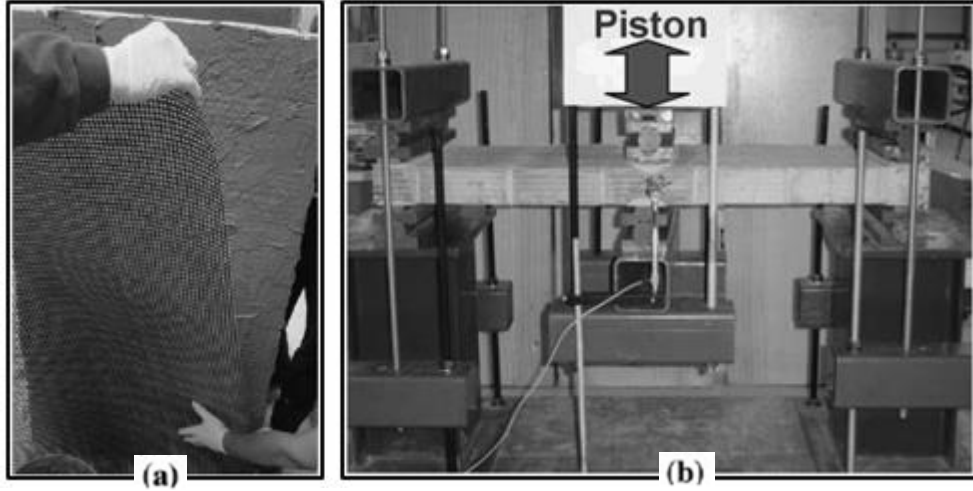
Burada düşey bir aktivatör kullanılarak numune 0,2 MPa, 0,6 MPa ve 1 MPa olacak şekilde üç farklı basınç gerilmesi altında sıkıştırılmıştır. Yürütülen testler neticesinde, düşük basınç gerilmesi ile sıkıştırılan numunelerde yığma birim-harç ara yüzeyinde daha gevrek bir kırılma mekanizması gözlenmiş ve göçme moduna ortadaki sünger taşın aşağı kayması ile ulaşılmıştır.

Papanicolaou ve ark. [18] tekstil donatılı harç ile güçlendirilmiş duvar numunelerinin çevrimsel yükleme altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında farklı iki deney seti kullanılmıştır. 1. grupta 60x85x185 mm ebatlarında pişmiş kil tuğla elemanlarından oluşturulan 1300 mm yüksekliğinde ve 400 mm genişliğindeki 5 adet numune düzlem dışı eğilmeye zorlanmıştır. Bu numunelerde yüklemenin yönüne bağlı olarak göçme mekanizmasının yatay derzlere paralel olması istenmiştir. 2. grupta ise 400 mm yüksekliğinde ve 1300 mm genişliğinde 5 adet numune test edilmiştir (Şekil 1.12.). Burada ise yükleme etkisinde oluşan çatlakların yatay derzlere dik olması amaçlanmıştır.



Şekil 1.12. Set 1 (a), Set 2 (b) deney numuneleri ve tuğla boyutları (c) [18]

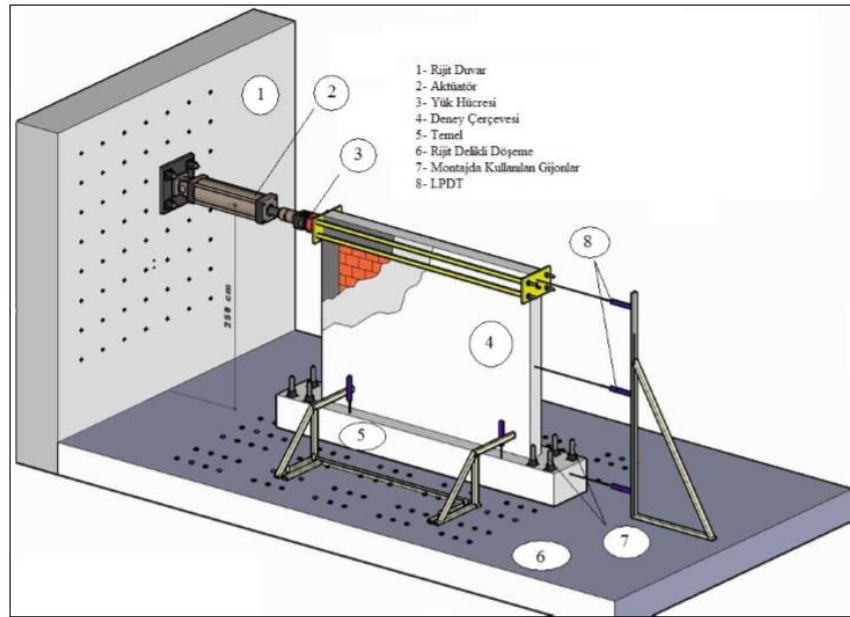
Tekstil malzeme numune yüzeyine epoksi reçine ve çimento harcı kullanılarak iki farklı şekilde yapıştırılmıştır. Ayrıca ilgili kumaşın numunenin her iki yüzeyine tek veya çift tabaka şeklinde uygulanmasının davranışa etkisi de deneysel çalışmanın kapsamı içerisinde yer almaktadır. Tüm numuneler rijit çelik bir çerçeveye konuşlandırılarak üç noktalı eğilme deneyi etkisinde incelenmiştir (Şekil 1.13.).



Şekil 1.13. Numunenin güçlendirilmesi (a) ve deney düzeneğine yerleştirilmesi (b) [18]

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar tekstil donatılı harç (TRM) ile güçlendirmenin mekanik davranışa önemli ölçüde katkı sağladığını göstermiştir. Ayrıca tekstil malzemenin çift tabaka şeklinde uygulanması, numunenin taşıyabildiği maksimum kuvvet kapasitesinde %20 oranında artış meydana getirmiştir. Çevrimsel yüklemeye maruz bırakılan 1.grup numunelerde göçme mekanizması duvar numunelerinde oluşan diyagonal çatlaklar sebebiyle oluşmuş ve itme yönünde meydana gelen dayanım ve rijitlik kaybının çekme yönüne kıyasla daha fazla olduğu gözlenmiştir. Fakat bu durum güçlendirme malzemesinin tek katman şeklinde uygulandığı durumda daha belirgindir. Ayrıca 1. grupta bulunan kontrol numunesinin henüz cihaza yerleştirilirken kendi ağırlığı altında (0,66 kN) göçtüğü, ancak uygulanan yükün yönüne bağlı olarak yatay derzlerin gerilme direnci çok düşük olduğundan bu durumun şaşırtıcı olmadığı belirtilmiştir. 2. grupta bulunan kontrol numunesinin maksimum kuvvet kapasitesi ise 3,36 kN olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, ilk grup kontrol numunesi ile kıyaslandığında derz konfigürasyonunun maksimum kuvvet kapasitesine etkisini göstermiştir. Çalışmanın en dikkat çekici sonucu ise göçmenin yığma duvar numunelerinde oluşan çatlaklar tarafından kontrol edilmesi durumunda, harç kullanılarak yapılan güçlendirme (TRM) işleminin epoksi reçine kullanımına göre daha iyi sonuçlar vermesidir. Bununla birlikte, numunenin başarısızlığı tekstil takviyesinin eğilme kırılmasını içeriyorsa TRM'nin FRP'ye göre etkinliği azalmaktadır.

Arslan [19], düşük dayanımlı ve geleneksel betonlarla üretilen ve cam lifli polimer esaslı deprem kumaşı ile güçlendirilen dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin çevrimsel yük etkisinde düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarını teorik ve deneysel olarak incelemiştir (Şekil 1.14.). Kullanılan deprem kumaşının yerdeğiştirme sünekliğini, taşıma gücünü, enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığının belirlendiği çalışmada düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı çerçevelerin taşıma kapasitelerinin, geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgulu çerçevelerinkinden %120 mertebelerinde daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca deprem kumaşlı dolgu duvarlar kırılarak parçalanmasına rağmen, sismik tekstil malzemesi sayesinde dağılmadığı ve sistemin sönüm oranının arttığı saptanmıştır.

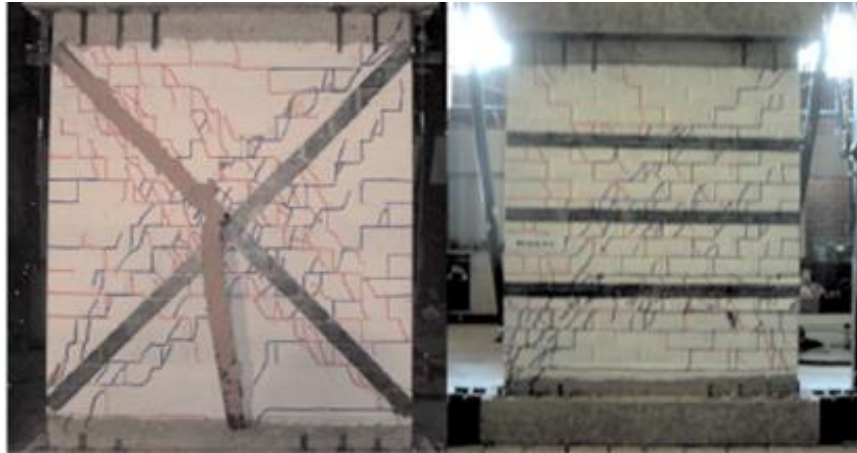


Şekil 1.14. Deney çerçevelerinin düzlem içi davranışının incelenmesi [19]

Triantafillou [20], FRP ile güçlendirilen yığma duvar numunelerini düzlem içi ve düzlem dışı eğilme ve kayma etkileri altında deneysel olarak incelemiştir. 80x120x190 mm boyutlarında 20 adet delikli kil tuğladan oluşturulan her bir numunenin yaklaşık ölçüleri 120x400x900 mm'dir. Hazırlanan 12 adet numunenin 6 tanesi düzlem dışı davranışı, geri kalanı ise düzlem içi davranışı incelemek için kullanılmıştır. Düzlem dışı davranışın araştırılması için hazırlanan 6 numunenin 2

tanesine tek taraflı ve 2 şerit şeklinde takviye işlemi yapılırken diğer 2 numuneye ise tek taraflı ve 4 şerit şeklinde güçlendirme yapılmıştır. Kalan 2 numune ise güçlendirme yapılmadan kontrol grubu olarak dikkate alınmıştır. Mekanik davranışı incelenen tüm numuneler üzerinde dört noktalı eğilme deneyleri gerçekleştirilerek CFRP malzemesinin yük taşıma ve göçme mekanizmalarına etkisi araştırılmıştır. CFRP malzemesi 1 mm kalınlığında ve 50 mm genişliğinde uygulanmıştır. Elde edilen bulgular sayısal bağıntılarla ifade edilerek, lifli polimer malzemenin bahsi geçen etkiler altındaki yığma birimin mekanik davranışına olumlu etkisi deneysel olarak gösterilmiştir. Göçme mekanizması FRP kumaşın numune yüzeyinden ayrılması neticesinde gerçekleşmiş ve numune kesme kapasitesinin güçlendirilmemiş olanlara nispeten 3-5 kat artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Alcaino ve ark. [21], boyutları 1975x2400x140 mm olan 16 tane tam ölçekli yığma duvar numunesinin kayma gerilmeleri etkisindeki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu duvar numuneleri CFRP malzemesi ile farklı biçimlerde güçlendirilerek (Şekil 1.15.) deney sonuçlarını dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesi bakımından değerlendirilmişlerdir.

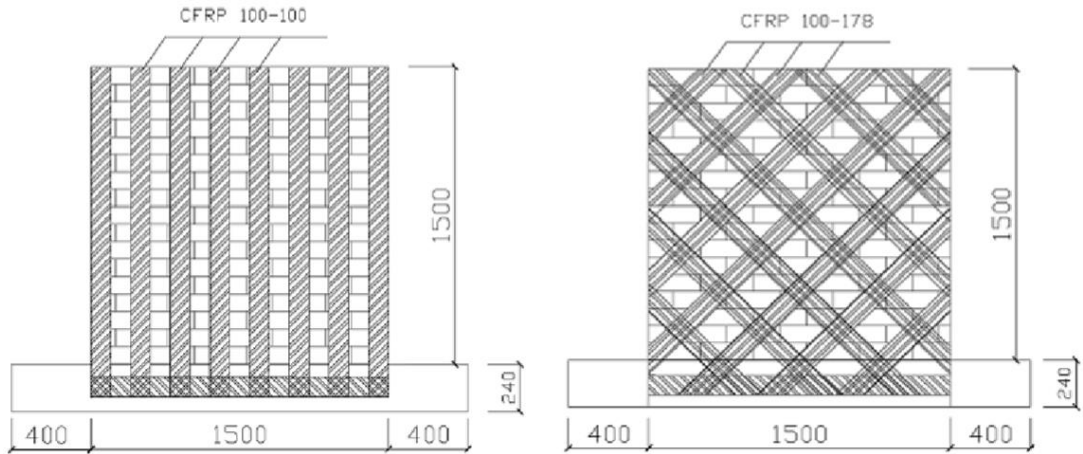


Şekil 1.15. Duvar numunelerinin CFRP şeritlerle güçlendirilmesi [10]

Güçlendirilen numunelerde kayma dayanımının %13-84 oranında arttığı ve şekil değiştirme kabiliyetinin ise %51-146 oranında arttığı görülmüştür. Yığma duvar numunelerinde cam esaslı lifli polimer uygulamasının sönmülenen enerji miktarını

da kayda değer seviyede arttırdığı saptanmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışma ile maksimum kayma dayanımının öngörülebilmesi için çeşitli formülasyonlar da geliştirilmiştir.

Yığma duvarların sünek davranışını ve yatay yük taşıma kapasitesini belirlemek için Wei ve diğ. [22], 1 tanesi referans olarak değerlendirilmek üzere toplam 3 yığma duvar numunesi üretmiş ve 2 tanesini CFRP takviyesi ile güçlendirerek, çevrimsel statik yüklemeye maruz bırakılan numunelerin mekanik davranışını araştırmışlardır. Üretilen numunelerin boyutları 1,5x1,5 m'dir. Şekil 1.16.'de gösterilen deney düzeneğinde görüldüğü üzere CFRP elemanlar farklı şekillerde uygulanmıştır. Her iki takviye işleminde de numunelerin sünekliği, yatay yük taşıma kabiliyeti ve enerji tüketme kapasitesi referans numuneye kıyasla önemli ölçüde artmaktadır.



Şekil 1.16. CFRP şeritlerin farklı biçimlerde uygulanması [11]

El-Dakhkhni ve ark. [23], deprem sonrası yığma yapılarda meydana gelen düzlem içi ve düzlem dışı hasarların iyileştirilmesi gerekliliğinden yola çıkarak yapıların iç bölme duvarlarının cam lif esaslı polimer malzeme ile güçlendirilmesinin mekanik davranışa etkisini araştırmışlardır. 24 numunenin basınç ve diyagonal çekme etkisi altında davranışının araştırıldığı deneylerde vurgulanan sonuç, söz konusu güçlendirme tekniğinin yük taşıma kapasitesi ve kesme dayanımını arttırırken

istenmeyen gevrek kırılmayı da önleyerek kayda değer hasar gördükten sonra bile duvarın yekpare yapısını bozmamasıdır.

Valluzzi ve ark. [24], lifli polimerlerin yığma duvar kayma davranışı üzerinde etkisini incelemek amacıyla 9 tanesi güçlendirilmeksizin üretilen toplam 33 numune üzerinde deneyler gerçekleştirmiş ve deney parametreleri olarak ise farklı rijitliğe sahip polimer türü ve uygulama şekli, tek veya çift taraflı uygulama durumu ve katman sayısını seçmişlerdir. Deneyler sonucunda, tek taraflı güçlendirilen numunelerde simetrik olmayan takviye işlemi sebebiyle oluşan rijitlik farkı eğilme deformasyonlarına sebep olmuş ve hasarların tamamına yakını güçlendirme yapılmayan tarafta meydana gelmiştir. Lifli polimerin diyagonal formda uygulanması taşınabilen maksimum kesme kapasitesi bakımından daha iyi sonuç verse de ağ şeklinde uygulamanın gevrek kırılmayı önleme konusundaki başarısı dikkat çekici seviyededir. Çift taraflı güçlendirilen numunelerde kompozit tekstil malzemesi yüzeyden ayrılarak göçme gerçekleşmiştir. Ayrıca rijitliği daha az olan FRP malzemenin kayma mukavemetini arttırmada daha etkili olduğu anlaşılmıştır.

Ehsani ve ark. [25], 0,71x1,22 m ebatlarında örülen üç adet duvar numunesini GFRP malzeme ile çift taraflı güçlendirerek numunelerin mekanik davranışını deneysel olarak araştırmışlardır. Cam fiberlerin numune yüzeyine yapıştırılabilmesi için epoksi reçine kullanılmıştır. Hazırlanan üç numunenin ilkinde cam fiber malzemenin genişliği ön yüzeyde 3,4 cm, arka yüzeyde 10,1 cm; ikincisinde ön yüzeyde 5,4 cm, arka yüzeyde 2,7 cm ve son numunede ön yüzeyde ve arka yüzeyde 8,1 cm olacak şekildedir. Bahsi geçen numuneler tekrarlı düzlem dışı yüklemelere maruz bırakılarak kayma dayanımları incelenmiştir. Ayrıca sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmek amacıyla 1 adet referans numune de denenmiştir. Güçlendirilmemiş duvar numunesi dayanım açısından yetersiz kalıp gevrek bir davranış göstermesine rağmen, kompozit malzeme kullanımı ile birlikte süneklik kapasitesi ve dayanım parametreleri kayda değer ölçüde artmıştır.

Özsaraç [26], yığma tuğla duvarların cam lif esaslı polimer malzeme ile güçlendirilmesinin dayanım ve sünek davranışa etkisini araştırmıştır. Deneysel çalışmalar, dolu harman tuğlasının 9,5x4,5x2,5 cm boyutlarında kesilmesiyle oluşturulan 19,5x17,5x4,5 cm ölçülerindeki duvar numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Toplamda 3 deney seti oluşturularak her bir grupta 12 adet duvar numunesi incelenmiştir. 1. grupta lifli polimer malzemedan 2,5 cm genişliğinde 2 tane parça kesilerek duvar yüzeyine diyagonal formda uygulama yapılmıştır. 2. grupta ise numunenin her bir köşegenine biri 1,5 cm ve ikisi 0,5 cm genişliğinde olacak şekilde 3 tane parça yapıştırılarak güçlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuncu deney setinde ise numunelerin tüm yüzeyi GFRP malzeme ile kaplanarak tüm deney numuneleri düşey yük ve deprem etkisinin birlikte temsil edilebilmesi için duvar derzleriyle 45° açı yapacak şekilde tek eksenli basınç yükü etkisi altında test edilmiştir. Çalışmalar sonucunda en yüksek dayanım artışı numunenin tüm yüzeyinin güçlendirildiği 3. grupta meydana gelmiştir. Ayrıca lifli polimer malzeme numunenin sünek davranışına büyük ölçüde katkı sağlamıştır.

1.5. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Dünyanın aktif deprem kuşaklarından Alp-Himalaya üzerinde bulunan Türkiye’de, mevcut yığma yapıların büyük çoğunluğunun mühendislik hizmeti almadığı göz önünde bulundurulduğunda olası yakın depremlerin ilgili yapılara tıpkı geçmişteki gibi büyük hasarlar vermesi sonucu kaçınılmazdır. Söz konusu yapılarda yaşayan hane sakinlerinin günlük yaşantılarını etkilemeyecek basit ve kolay uygulanabilir bir güçlendirme tekniği sayesinde konutlarının deprem güvenliğinin artırılması mümkündür.

Öte yandan; birçok uygarlığa binlerce yıldan bu yana ev sahipliği yapan Anadolu’nun tarihi geçmişi, farklı yüzyıllara ait korunması gereken bir miras bırakmıştır. Bu miras; yığma tarzda yapılmış camiler, medreseler, havralar, kiliseler, saraylar ve askeri kışlalara varan çeşitli türde yapıları kapsamaktadır. Bahsi geçen tarihi yapılar; insanlığın farklı medeniyet dönemlerinde değişik amaçlarla inşa ettiği ve korunarak gelecek kuşaklara aktarılması gereken değerlerdir. Olası sismik

aktiviteler, doğal afetler ve son yüzyılda ortaya çıkan hızlı kentleşme baskısı bu yapıların kalıcılığı için risk teşkil ettiğinden, koruma ve güçlendirme stratejileri önem kazanmaktadır. Büyük çoğunluğu yığma türde inşa edilmiş sözü edilen yapıların anıtsal değer taşıması, kültürel mirasın bu öğelerinin özgün niteliklerini yitirmeden sonraki nesillere aktarılabilmesi ve sürdürülebilirliği için bir takım yenilikçi iyileştirme çalışmalarını zorunlu hale getirmektedir.

Bu çalışmada alkali dirençli cam ve polipropilen lifli kompozit bir tekstil malzeme, yığma yapı duvarlarını temsil edecek olan küçük ölçekli tuğla numunelerin yüzeylerine uygulanarak ilgili elemanın yatay yük taşıma ve enerji tüketme kapasitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Takviye işleminde kullanılan sismik kumaş, numune yüzeyine yerli ve yabancı üretim iki farklı bağlayıcı kullanılarak yapıştırılmış ve söz konusu yapıştırma sıvalarının deprem kumaşı ile bütünleşerek oluşturdukları güçlendirme sistemi ile yukarıda bahsi geçen yapıların gelecekteki yıkıcı depremlerden, afetlerden ve iklimsel olaylardan korunmalarının sağlanabilirliği deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde, yığma türde inşa edilmiş yapılar hakkında genel bilgiler verilmiş, ülkemizde yaşanan depremler sonrası gözlemler sonucunda güçlendirme kavramının gerekliliğine değinilmiştir. Ayrıca konuya ilişkin yapılan bazı çalışmalar özetlenerek, araştırmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölümde yığma yapılar detaylı şekilde incelenmiş, kullanılan malzeme türleri ve özellikleri, karşılaşılan hasar biçimleri ve uygulamada sıkça rastlanan güçlendirme teknikleri ifade edilmiştir. Çalışmaya esas olan lifli polimer ile güçlendirme işlemi detaylarıyla açıklanmış, yapılan çeşitli uygulamalar görsellerle desteklenerek sunulmuştur.

Üçüncü bölümde ise gerçekleştirilen deneysel çalışmalar açıklanmıştır. Araştırmada kullanılan boşluklu yığma tuğla elemanın basınç dayanımının ve benzer şekilde harcın eğilme ve basınç mukavemetlerinin belirlenebilmesi amacıyla öncelikle ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çalışmaya esas olacak 24 adet numune üç

noktalı kesme testlerine maruz bırakılarak ana deneyler yürütülmüştür. Söz konusu deneyler, her bir set 3 numuneden oluşmak üzere toplam 8 setten meydana gelmektedir. Deney düzeneği, güçlendirilme durumu ve takviye işlemi yapılırken kullanılan özel sıva tipi açısından farklılıklar içeren ilgili 8 deney seti kesme kuvveti- yer değiştirme ilişkisi bakımından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve kullanılan güçlendirme sisteminin kayma dayanımı ve süneklik parametrelerini hangi mertebede arttırdığına dair bir takım sayısal analizler yapılmıştır.

Tez çalışmasının son bölümü olan dördüncü bölümde, deneysel araştırma neticesinde elde edilen bulgular ifade edilmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirmeler yapılarak gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2. YIĞMA YAPILARIN KARAKTERİSTİKLERİ

Yığma yapılar; taş, tuğla, kerpiç, bims gibi malzemelerin harçla birbirine bağlanması ile yapılmış olan yapılardır (Şekil 2.1.). Bu tür yapılarda kullanılan malzemelerin gerilmeler etkisindeki davranışları dikkate alındığında basınç dayanımlarının yüksek; çekme dayanımlarının ise düşük olduğu görülmektedir. Bu sebeple yapının mekanik davranışı araştırılırken çekme kuvvetinin taşınmadığı varsayımı yapılır.

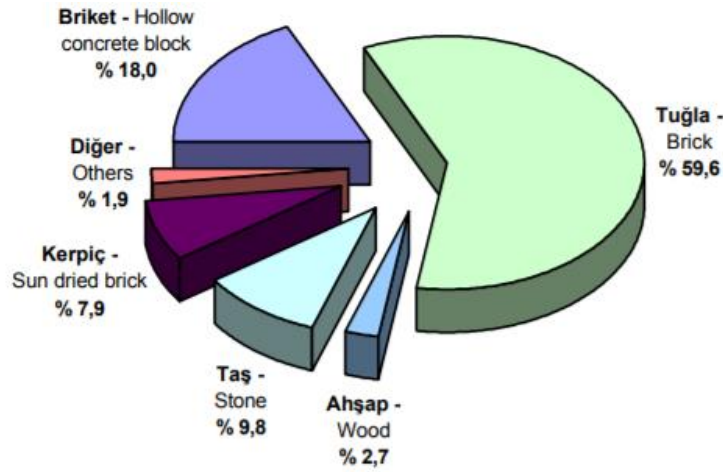


Şekil 2.1. Yığma yapı örneği [27]

Yığma tarzda inşa edilmiş yapıları donatılı, donatısız ve kuşatılmış olarak üç gruba ayırmak mümkündür. Ancak Türkiye'nin özellikle doğusunda bulunan yığma yapıların büyük çoğunluğu harç yardımıyla örülen yığma birimlerin bir araya getirilmesiyle donatısız olarak inşa edilmişlerdir. Bu yapılar, yüksek rijitlik kapasitelerinin yanı sıra kullanılan malzemelerden ötürü düşey ve yatay yükler altında gevrek davranış gösterirler.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Yığma türde yapılar; çamur esaslı kerpiçten doğal taşla varan çeşitlilikte ve metalik özelliği bulunmayan inorganik malzemeleri içeren yapı elemanları ile inşa edilirler. Fakat söz konusu yapılarda sıklıkla tercih edilen malzemeler doğal taşlar ve yığma tuğla birimlerdir. Kullanılan malzemenin türü, yığma yapıların taşıma gücünü doğrudan etkilemektedir. Şekil 2.2.'de yığma ve iskelet olarak inşa edilen yapılarda kullanılan dolgu maddesi cinsine göre genel bir dağılım verilmiştir [6].



Şekil 2.2. Yığma ve karkas yapılarda kullanılan dolgu malzemelerinin dağılımı [6]

2.1.1. Doğal taşlar

Basınç dayanımı çekme dayanımına göre oldukça yüksek bir malzeme olan taşın, mekanik özellikleri malzeme türüne göre değişiklikler göstermektedir. Farklı malzemelere sahip doğal taşlara ait ortalama mekanik özellikler Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Doğal yapı taşlarının ortalama mekanik özellikleri [28]

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	15-70
Mermer	25-65	9-45	1-15	25-70
Kireçtaşı	18-65	6-20	2-6	10-55
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13-50
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15-55
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23-45

2.1.2. Bims

Son yıllarda inşaat sektöründe kullanımı artan bims, volkanizma olayları sonucu oluşmuş gözenekli ve kristalize yapıda doğal bir malzemedir. Bims, hammaddesi olan pomza madeninin mekanik özelliği gereği ısı-ses yalıtımı ve yangın dayanımı yönünden güçlü bir malzemedir. Ortalama basınç dayanımı 1,5 MPa ve elastisite modülü 6865 MPa'dır [28].

2.1.3. Kerpiç

Saman ve balçık karıştırılarak hazırlanan ve tahta kalıplara döküldükten sonra güneşte kurutularak elde edilen ilkel tuğlalar kerpiç olarak adlandırılır. Gelişen teknoloji ile birlikte yeni karışımlar yapılarak mekanik özellikleri iyileştirilen söz konusu malzemelerin çimentolu, alçılı, uçucu küllü ve asfalt karışımı olanları da mevcuttur. Basınç dayanımları 0,5 MPa ve 2 MPa arasında değişiklik gösterir.

2.1.4. Tuğla

Yığma tuğlalar genellikle düşey boşluklu olarak üretilen ve pişirilmiş kerpiç olarak nitelendirilebilecek yapı elemanlarıdır. Malzemenin boşluk oranı ve pişirilme süresi dayanımını doğrudan etkileyen unsurlardır. Basınç dayanımı 3-15 MPa arasında değişiklik gösteren bu malzemenin çekme dayanımı 0,2-0,5 MPa arasındadır. Kayma

dayanımı yaklaşık 2 MPa olan yığma tuğlaların elastisite modülü ise 1-5 GPa aralığında değişmektedir [28].

2.1.5. Harç

Yığma yapı malzemelerinin ara yüzeylerini doldurmak için kullanılan bağlayıcı malzemeler harç olarak isimlendirilir. Geçmişten günümüze yığma yapılar dikkate alındığında horasan harcı, kireç harcı ve çimento harcı gibi çeşitli türde bağlayıcı malzemelere rastlamak mümkündür. Tarihi yapılarda sıkça rastlanan Horasan harcı kum, horasan pirinci, yumurta akı, su ve zeytinyağı gibi malzemelerin farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir.

Kireç ve çimento harçları ise daha çok günümüzde inşa edilen yığma yapılarda yaygın olarak kullanılan yapıştırma malzemeleridir. Kirecin hammaddesini kalsiyum karbonat (CaCO_3) esaslı kireç taşları oluşturur. Bu taşların ısı ile kalsine olması ve karbondioksit gazının yapıdan ayrılması sonucu elde edilen kalsiyum oksit sönmemiş kireç olarak isimlendirilir. Kalsinasyon sonucunda elde edilen sönmemiş kirecin (CaO), su veya havada bulunan nem ile tepkimeye girerek kalsiyum hidroksite (Ca(OH)_2) dönüşmesi neticesinde ortaya çıkan ürüne ise sönmüş kireç adı verilir. Kireç harçlarının şekil değiştirme kapasiteleri fazla olduğundan yapıda hasar alarak çatlak oluşturma oranları küçüktür. Ancak kullanılan kireç üretim aşamasında yeterince söndürülmemişse bu işlem yapıda tamamlanacağından çatlaklar ve kusurlar oluşur.

Çimento harcı ise 0-4 mm'lik kum ile belirli oranda çimento ve suyun karışımından elde edilen harç türüdür. Genellikle yığma yapıya ait dış duvarların örülmesinde kullanılan bu harç tipinde kum ve çimento hacimsel oranının 1:4 olması gerekmektedir [29]. Sadece çimento ve kum kullanılarak üretilen harcın işlenebilirliğinin az olması ve hızlı priz alması sebebiyle çimentonun prizini geciktirmesi için bir miktar kireç eklenerek oluşturulan harç türü ise melez (temditli) harç olarak isimlendirilir.

2.2. Yığma Yapı Elemanları

Geçmişten günümüze yığma yapılar incelendiğinde kemer, kubbe, sütun, tonoz ve duvar olarak isimlendirilen yapı elemanları ile karşılaşılacaktır. Bu yapı elemanlarına dair özellikler bu bölümün devamında verilmiştir.

2.2.1. Kemer ve tonoz yapı elemanları

Kemerler; taş, kerpiç veya ahşap yapı elemanlarının fönüküler (kavisli) formda örülmesi ile oluşturulan ve iki duvar ya da ayağı birbirine bağlayarak kapı, pencere ve çatı gibi açıklıkların üstündeki ağırlığı yanlardaki ayaklara vermek suretiyle yapıların üst örtülerini hafifleten mimari unsurlardır. Yapısal ve taşıyıcılık özellikleri bakımından kemerlere benzeyen tonozlar ise kemer derinliğinin açıklığını geçmesi durumunda ortaya çıkan elemanlardır. Şekil 2.3.'de kemerli yapıya bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.3. Kemerli yapı örneği [30]

2.2.2. Kubbe yapı elemanları

Kemerlerin simetri eksenleri etrafında 360 derece döndürülmesiyle ortaya çıkan dönel yapı elemanları kubbe olarak isimlendirilmektedir. Kubbelerin ağırlık merkezleri boşlukta olduğundan, yapının asimetrik olması durumunda düşey ve yatay yükler etkisinde kararsız davranırlar ve bu durum yapıda burulmalara sebep

olur. Kubbe yapı elemanlarının duvara birleşen bölümü kasnak olarak adlandırılır. Kasnağın konuşlandığı yatay düzlem ve kubbe tepe noktası arasındaki mesafenin, kubbenin çapına bölünmesiyle elde edilen değer basıklık mertebesinin bir ölçütüdür. Bu değer arttırılarak kesitlerde basınç gerilmesinin daha etkin rol oynaması sağlanır. Şanlıurfa'nın Harran bölgesinde bulunan tarihi kümbet evleri kubbeli yapılara örnek olarak gösterilebilir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Şanlıurfa-Harran'da bulunan kubbeli yapılar

2.2.3. Sütun yapı elemanları

Düşey yapı elemanları olan sütunlar, tıpkı betonarme yapılardaki kolon elemanlar gibi çatı ve döşemelerden gelen yükleri temele aktarırlar. Sütun başlığı, sütun gövdesi ve sütun kaidesi olarak adlandırılan üç parçadan oluşan söz konusu elemanlarda başlık, yükün düşey taşıyıcı eleman olan sütun gövdesine emniyetli biçimde iletilmesini sağlar. Yükü daha geniş bir alana dağıtarak zemine aktarmak amacıyla, sütun gövdesinin üzerine oturtulduğu alt taban eleman ise sütun kaidesi olarak ifade edilir. Şekil 2.5.'de sütun yapıya ait örnek verilmiştir.



Şekil 2.5. Sütun yapı elemanı [28]

2.2.4. Duvar yapı elemanları

Yığma yapılarda duvarlar, yapıyı etkileyen ölü ve hareketli düşey yükler ile rüzgar gibi yatay yükleri karşılayan ve temellere aktaran düzlemsel yapı elemanlarıdır. Duvarlar, maruz kaldıkları düzlem içi ve düzlem dışı etkiler sebebiyle oluşan çekme gerilmeleri altında güç tükenmesine ulaşır ve bu durum söz konusu elemanlarda kayma mekanizmasının meydana gelmesine sebep olur. Yapıyı etkileyen kesme kuvvetleri hem yatay hem de düşey yönde kayma gerilmeleri oluştururken, köşegen doğrultuda ise çekme ve basınç gerilmelerine sebep olurlar. Bu durumun köşegenlerde X çatlakları oluşturmaması için duvarın diğer yöndeki duvarlara düzgün mesnetlenmiş olması ve dolayısıyla yatay harekete karşı direniminin artırılması büyük önem arz etmektedir.

2.3. Yığma Yapılarda Hasar Biçimleri

Yığma yapılar, kırsal bölgeler başta olmak üzere ülkemizin çeşitli yerlerinde özellikle konut ve hayvan barınağı olarak kullanılmak amacıyla geçmişten günümüze sıkça tercih edilen yapılardır. Yapının kendi ağırlığı ve hareketli yükler gibi düşey

kuvvetler; normal gerilmeleri oluştururken, deprem yükleri ise kayma gerilmelerini meydana getirir. Düşey yüklerin, kapı ve pencere boşluklarının dahil edilmediği duvar enkesit alanına bölünmesiyle hesaplanan normal gerilmeler, izin verilen basınç gerilmelerini (Tablo 2.2.) aştığı takdirde yapıda hasarlar gözlenir.

Tablo 2.2. Serbest basınç dayanımı bilinmeyen duvarların σ değerleri [29]

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	Duvar Basınç Emniyet Gerilmesi (MPa)
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	1,0
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35-45 arasında, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0,8
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %45'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0,5
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0,8

Benzer şekilde ağır ve rijit olmalarının etkisiyle büyük deprem kuvvetlerinin oluşmasına neden olan yığma yapılarda kayma gerilmeleri etkisinde ise kesme hasarları meydana gelmektedir. Hasar mekanizmasının engellenmesi için gelen deprem kuvvetinin duvar yatay enkesit alanına oranı ile hesaplanan kayma gerilmesi, Denklem 2.1 ile hesaplanan duvar kayma emniyet gerilmesi değerinden küçük olmalıdır. Verilen denklemde τ_o , duvar çatlama emniyet gerilmesi; μ_s ise sürtünme katsayısıdır.

$$\tau_{em} = \tau_o + \mu_s \sigma \quad (2.1)$$

Duvarların çatlama emniyet gerilmesi değerleri Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Duvarların Çatlama Emniyet Gerilmeleri [29]

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi (MPa)
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0,25
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0,12
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0,15

Duvarlarda, kemerlerde ve kubbelerde oluşan çatlaklar, temellerde zamanla meydana gelen oturmalar, kullanılan düşük kaliteli malzemenin deforme olması veya deprem gibi yatay yükler etkisi altında şekil değiştirmesi yığma yapılarda görülen tipik hasarlardır.

2.3.1. Temellerde görülen hasarlar

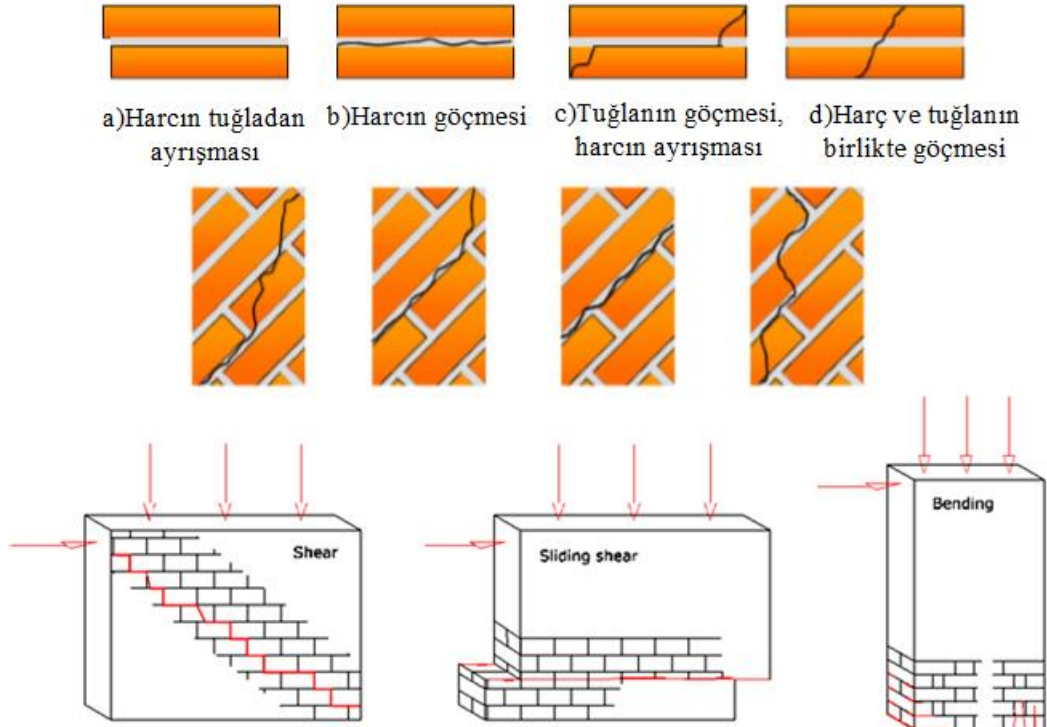
Yığma yapıların temellerinde yapının öz ağırlığı, zeminin deprem etkisi altında hareketleri, yeraltı su seviyesinin değişmesi, temel tabanında bulunan taşların kırılması ve dağılması gibi sebeplerden ötürü zemin gerilmeleri taşıma gücü gerilmelerine yaklaşarak oturmalar veya göçmeler gözlenmektedir. Yığma yapı temellerinde kullanılan sömel boyutlarından ötürü, zemine aktarılan düşey gerilmeler genellikle büyük mertebelere ulaşmamaktadır. Dolayısıyla temel derinliği çok az olmadığı müddetçe, yapının öz ağırlığından ötürü oturma hasarlarının meydana gelmesi zayıf bir ihtimaldir. Ancak çeşitli sebeplerle meydana gelen yeraltı sızıntıları temelin altındaki zeminin kohezyonunu azaltarak hasara sebep olabilmektedir. Özellikle yüksek plastisiteli ve geçirimsizliği düşük killi zeminlerde oturma çok yavaş gerçekleşmekte ve hasarlar uzun süre sonra gözlenebilmektedir. Ayrıca zayıf zemin üzerine yapılan yığma yapılarda, gelen deprem etkisi oturmaya hızlandırdığından duvarlarda ani göçmelere sebep olmaktadır. Şekil 2.6.'da gevşek zemine inşaa edilmiş yığma bir yapının oturması kaynaklı duvarlarının göçmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.6. 2003 Bingöl Depremi'nde yığma bir yapının oturma kaynaklı göçmesi [31]

2.3.2. Duvarlarda görülen hasarlar

Yığma yapılardaki duvarlar, binanın kullanım alanını çevrelemenin yanısıra taşıyıcı görev üstlendiklerinden burada meydana gelebilecek her türlü hasar doğrudan taşıyıcı sistemi etkileyecektir. Yığma duvarlarda, yapının maruz kaldığı düşey ve yatay yükler etkisiyle çekme ve basınç gerilmeleri oluşur. Duvarın çekmeye karşı dayanımının aşılması durumunda, 45 derecelik eğik çekme çatlakları meydana gelmekte ve aksenal basınç mertebesine göre oluşan çatlakların açısı değişmektedir. Düşey basınç gerilmeleri ve kayma gerilmelerinden ötürü taşıma gücüne ulaşılması, kullanılan harcın dayanım ve miktar bakımından yetersizliği, duvarın niteliksiz şekilde örülmesi ve tersinir deprem kuvvetleri neticesinde oluşan kılcal çatlakların zamanla büyümesi gibi etkenler yığma yapıların duvarlarında görülen hasarların başlıca sebepleridir. Şekil 2.7.'de yığma bir duvarda meydana gelebilecek göçme modları ve kesme veya eğilme etkisinde duvarda meydana gelecek çatlak biçimleri verilmiştir.



2.3.3. Deprem hasarları

Yığma yapılarda depremden dolayı oluşan hasarlar duvarlarda çatlama, kırılma, yapı temellerinde oturmalar veya toptan göçme şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu anlamda deprem hasarları, Bölüm 2.3.1. ve 2.3.2.'de anlatılan hasar biçimlerinin oluşmasında tetikleyici olan unsurlardan biri olarak nitelendirilebilir. Yığma yapılar inşaa edilirken kullanılan taş, tuğla gibi elemanlar gevrek malzemeler olduklarından büyüklüğü az olan depremlerde bile çatlayarak önemli ölçüde hasar alabilirler. Meydana gelen çatlakların genişliği ve şekli; gelen yatay kuvvetin mertebesi, duvarın maruz kaldığı düşey gerilme, yığma yapılarda bulunan kapı ve pencere boşlukları gibi çeşitli etmenlerle ilişkilidir.

Genel olarak deprem etkisi altında iki tür davranıştan bahsetmek mümkündür. Bunlardan ilki, yığma yapının betonarme bir döşemeye sahip olması durumunda ortaya çıkar. Şöyle ki; söz konusu döşemenin yer hareketi etkisinde oluşan yatay yükleri yığma duvarlara rijitlikleri oranında aktarmasıyla, duvarlarda kesme hasarları meydana gelmektedir (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Rijit kat döşemeli yığma yapıda deprem hasarı [33]

Rijit bir kat döşemesi olmayan yığma yapılarda ise duvarlar, düzlem dışı salınım yaparak hasarlar yapının köşelerinde oluşmaya başlamaktadır. Şekil 2.8. ve 2.9.'da verilen binalar, 1970 Gediz Depremi'nde birbirine yakın konumda bulunmalarına rağmen rijit ve esnek döşemelerinden ötürü farklı şekillerde hasar almışlardır.



Şekil 2.9. Esnek kat döşemeli yığma yapıda deprem hasarı [33]

2.4. Yığma Yapılarda Hasar Ölçütleri

Yığma yapılarda deprem etkileri başta olmak üzere; dış yükler, mevsimsel olaylar, temellerde ortaya çıkan oturmalar gibi sebeplerle hasarlar meydana gelmekte ve farklı formlarda çatlaklar oluşmaktadır. Oluşan çatlakların genişliği kullanılan yığma birim ve derz harcı arasındaki sürtünme kuvvetine ve yer hareketi etkisiyle meydana gelen kayma gerilmelerinin büyüklüğüne bağlıdır. Tablo 2.4.'te çatlak genişliklerine bağlı olarak yığma yapıya ait hasar ölçüt kriterleri gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Yığma yapılar için hasar ölçütleri [34]

Çatlak Genişliği	Hasar Derecesi	Açıklamalar
0,1 mm'den az	Önemsiz	Yapıya ve kullanıma etkisi yoktur.
0,1-0,3 mm	Önemsiz, az	Taşıyıcı sisteme ve yapının kullanımına bir etkisi yoktur.
0,3-1,0 mm	Az	Taşıyıcı sisteme bir etkisi yoktur. Estetik açıdan sakıncalı olabilir. Dış cephe elemanlarının yıpranmasını hızlandırır.
<i>Buraya kadar olan çatlaklar kılcal çatlaklardır. Çoğu zaman gözden kaçabilir. 1 mm yakın çatlaklarda duvar kâğıtlarında buruşukluklar gözlenebilir.</i>		
Çatlak Genişliği	Hasar Derecesi	Açıklamalar
1,0-2,0 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme bir etkisi yoktur. Estetik açıdan sakıncalı olabilir. Dış cephe elemanlarının yıpranmasını hızlandırır. Bu düzeydeki çatlaklar, briketleri ve pencere kapı lentolarını çatlatabilir. Birkaç metre uzaktan fark edilebilirler. Bu düzeyden daha ileri düzeydeki çatlaklarda yapıda oturanlar, önlem alınması için harekete geçebilir.
2,0-5,0 mm	Orta	Taşıyıcı sistemi etkilemeye başlar. Dış duvarlardan içeriye hava akımları duyumsanmaya başlar, pencere ve kapılar sıkışır ve kapanmaya başlar. Yapının kullanımı etkilenmeye başlar.
5,0-15,0 mm	Orta-Ağır	Kapı ve pencereler sıkışabilir. Su ve kanal bağlantıları kırılabilir. Binaya su ve soğuk hava girer. Pencere camları çatlar ve kırılabilir, sıvalar dökülmeye başlar. Tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çökebilir. Bu boyutlardaki çatlaklar kabul edilemez çatlak sınırı oluşturur.
15,0-25,0 mm	Ağır	Ciddi onarım ve güçlendirme gerektirir. Yapının stabilitesi çok büyük bir tehlike altındadır.
25,0 mm'den çok	Çok ağır ve çok tehlikeli	Yapıda ağır hasar, ciddi onarım ya da yeniden yapım gerekir.

Ayrıca dünyada çeşitli yönetmeliklerde yığma yapıların yatay yer değiştirme yapabilme miktarlarına kısıtlamalar getirilmiştir. Örneğin yığma yapı stoğunun dikkat çekici düzeyde olduğu İtalya'da İtalyan yönetmeliği NTC 2008 bu oranın kat yüksekliğinin %0,5'inden küçük olması gerektiğini ifade etmektedir.

2.5. Yığma Yapılarda Güçlendirme Teknikleri

Herhangi bir yapının yük taşıma kapasitesi, rijitliği, sünekliği veya dayanımı gibi mekanik karakteristiklerini eski haline döndürmek ya da bugünkü durumun üzerine

çıkarmak amacıyla yapılan işlemler bütünü güçlendirme olarak ifade edilebilir. Kullanılan malzemelerin düşey yükler altında yetersiz kalması, niteliksiz işçilik uygulamaları, inşa edilen yapının zamanla işlevinin değişmesi sebebiyle ek duvarların yapılması veya mevcut iç duvarların yıkılması ve deprem etkisiyle hasar gören yapının kaybettiği mekanik özelliklerinin geri kazandırılması gibi nedenler, güçlendirme kavramının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Yığma yapılar için önerilen birçok güçlendirme yöntemi mevcuttur. Bu bölümde tüm güçlendirme yöntemlerine değinilecek, fakat çalışmaya esas olan kompozit malzemeler kullanılarak güçlendirme tekniğine daha detaylı yer verilecektir.

2.5.1. Püskürtme beton uygulaması ile güçlendirme

Bu yöntem, yığma yapıların esas taşıyıcı sistemi olan duvarların güçlendirilmesi amacıyla kullanılır. Öncelikle güçlendirme yapılacak duvar elemanına epoksi vasıtasıyla ankraj çubukları yerleştirilir. Hasır çelik donatılar, söz konusu ankraj çubuklarına sabitlenerek üzerine 1-1,5 m mesafeden basınçlı hava yardımıyla püskürtme beton uygulanır (Şekil 2.10.).



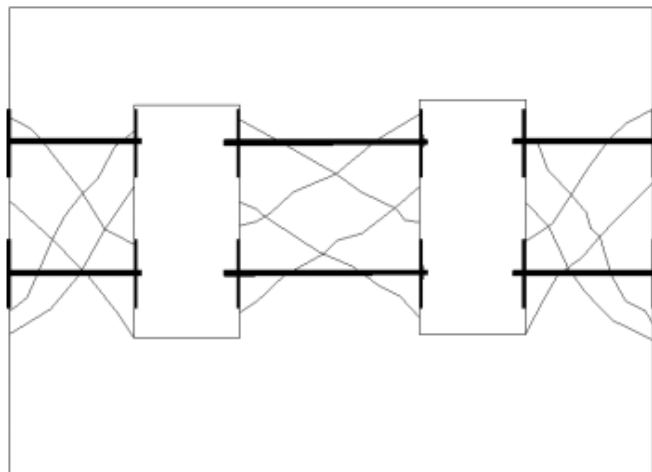
Şekil 2.10. Püskürtme beton uygulaması [35]

Uygulamayı yapacak kişinin tecrübeli olması, güçlendirme işleminin amacına uygun gerçekleştirilebilmesi noktasında etkilidir. Örneğin uzak mesafeden yapılan

püskürtme işlemi, çelik hasırların arka tarafına yeterli miktarda betonun geçmesini engelleyecek ve zayıf kesitler oluşturarak ilerde çatlakların meydana gelmesine neden olacaktır. Püskürtme cihazının olması gerekenden yakın tutulması durumunda ise beton yüzeye tam olarak yapışmayıp dökülecek ve dolayısıyla malzeme israfı meydana gelecektir. Bu uygulama yapılırken, yüzeye çarpıp dökülen beton tekrar kullanılmamalı ve püskürtme betonu üzerine yüzeyin düzgün olmasını sağlamak amacıyla 2,5 cm kalınlığında sıva yapılmalıdır. Yığma yapıların bu yöntem ile iyileştirilmesinde, uygulamanın yapıldığı yüzey ile aderansın sağlanması noktasındaki zorluklar ve yapılar arasındaki mesafelerin az olması sebebiyle sorunlar yaşanabilmektedir.

2.5.2. Çelik elemanlar kullanılarak taşıyıcı duvarların güçlendirilmesi

Bu yöntem çekme gerilmelerine karşı yapılan bir uygulamadır. Yığma yapı duvarlarında oluşan çatlakların genişlemesini engellemek için, bu çatlakları kesen donatılar yerleştirilir. Şekil 2.11.'de gösterildiği gibi yatay yük etkisinde eğik çekme çatlakları oluşan taşıyıcı duvarda bu çatlakları kesen çelik elemanlar vasıtasıyla güçlendirme işlemi yapılır. Bu uygulama için, çapı 16 mm olan çelik çubuklar dolu duvarda açılan deliklerden geçirilir ve bulonlar yardımıyla duvarlar sıkıştırılarak çatlakların genişlemesi engellenir.



Şekil 2.11. Gergi donatıları ile güçlendirme uygulaması [26]

Çelik elemanların eklenmesi ile yapılan güçlendirme işlemine verilebilecek bir diğer örnek ise kubbe ve sütun gibi daha çok tarihi yapılarda bulunan elemanların iyileştirilmesidir. Yığma yapı elemanını tamamen çevreleyecek şekilde çelik çemberler kullanılarak mevcut hasarların büyümesi önlenmektedir (Şekil 2.12.). Kullanılan çelik elemanların pas, yangın ve olası diğer dış etkenlere karşı dayanıklı ve korunaklı olması önem arz etmektedir.



Şekil 2.12. Sütun elemanların çelik çemberler ile güçlendirilmesi [28]

2.5.3. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması ile güçlendirme

Taşıyıcı yığma duvarların dayanımını arttırmak için bu teknik ile güçlendirilmesi ülkemizde son yıllarda yaygınlaşmaya başlamış olup bu konuda çalışmalar hala devam etmektedir. Yığma duvarın üzerine hasır çelikler yerleştirildikten sonra kalıplar kurularak beton dökümü gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.13.). Donatı konfigürasyonunun çok yoğun olduğu güçlendirme projelendirmelerinde; vibrasyon gerektirmeyen ve kalıba homojen şekilde dağılarak kendiliğinden yerleşen beton kullanılması, uygulamada püskürtme betona kıyasla ciddi kolaylık sağlamaktadır. Yöntem bakımından bu uygulamaya eşdeğer olan bir diğer seçenek ise kendiliğinden yerleşen beton yerine normal beton kullanılarak yapılan güçlendirme türüdür. Ancak

normal beton kullanılması durumunda yığma duvar elemanının yüzeyi ve beton arasındaki aderans, kendiliğinden yerleşen beton kullanılması durumuna kıyasla daha az olduğundan bu yöntem genellikle tercih edilmez.



Şekil 2.13. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması ile güçlendirme [27]

2.5.4. Temellerin güçlendirilmesi

Yığma yapı temellerinden ötürü meydana gelen hasarların büyük kısmı yeraltı su seviyesinin değişmesi kaynaklıdır. Söz konusu hasarları engellemek ve yapının dayanıklılığını arttırmak için öncelikle ortamda bulunan suyun drenaj sistemleriyle tahliye edilmesi gerekmektedir. Özellikle sıvılaşmaya meyilli zeminlerde, dayanım kaybı ve büyük yer değiştirmelerin oluşmasını önleyerek yapı temelinin korunması amacıyla drenaj uygulaması önem arz etmektedir. Bu uygulama yapılırken, kanalların sızdırma yapmaması için sistemin bağlantıları dikkatle gerçekleştirilmelidir. Temeller güçlendirilirken, mevcut temel hatılına ilave yapılarak elemanın genişletilmesi veya derinleştirilmesi mümkündür. Burada önemli olan yapının eski ve yeni bölümlerinin beraber çalışmasını ve eski elemandan yeni elemana yük aktarımının sağlanmasıdır. Temellerin mekanik karakteristiklerinin daha iyi bir duruma getirilmesine ve düzgün bir yük dağılımına imkân vermek için jet grout kolonları veya çakma kazık, itmeli kazık ve mini kazık gibi elemanlardan birisi ile temel yüklerinin daha derinde bulunan taşıyıcı katmana iletilmesi de uygulamada karşılaşılan seçeneklerdir. Şekil 2.14.'de yığma yapı temellerinin güçlendirilmesine dair örnek bir yapı sunulmuştur.



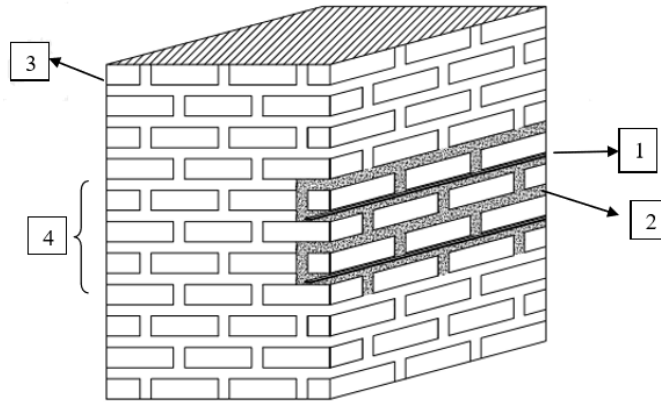
Şekil 2.14. Yığıma yapı temel güçlendirmesi [28]

2.5.5. Lifli polimer (LP) takviyeli kompozitler ile güçlendirme

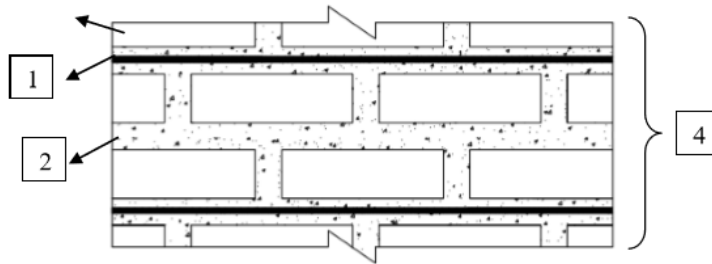
Yığıma yapılar inşa edilirken kullanılan malzemelerin gevrekliği, yatay ve düşey yükler etkisindeki söz konusu yapıların enerji yutma kapasitesini arttırmak için kolay uygulanabilir ve etkin yöntemlerin incelenmesini gerekli kılmıştır. Son yıllarda popülaritesi artan lifli polimer uygulaması bu yöntemlerden biridir. Fiber Reinforced Polymers kelimelerinin baş harflerinin bir araya getirilmesi ile FRP olarak adlandırılan bu teknik dilimize LP olarak geçmiştir. Karbon, cam, kevlar ya da aramid lifleriyle güçlendirilmiş reçine karışımından oluşturulan söz konusu kompozit malzemeler arasında en yaygın olarak kullanılanlar karbon lifli (CFRP) ve cam lifli (GFRP)'dir. Ülkemizde son yıllarda yaygınlaşan ve daha çok karbon fiber ismiyle tanınan söz konusu malzemeler; çeliğe göre daha yüksek çekme mukavemetine sahip olmaları, boyut ve biçim açısından çok alternatifli olmaları, hafif olmaları, korozyona karşı dayanıklılıkları ve kolay uygulanabilir yeni nesil malzemeler olmaları gibi özellikleriyle diğer güçlendirme yöntemlerine kıyasla ön plana çıkmaktadırlar. Ayrıca güçlendirilen yapı elemanının kesiti değişmediğinden atalet momenti ve rijitliği aynı kalmakta; dolayısıyla gerilme yığılmaları ve ek kesit tesirleri meydana gelmemektedir. Bu yöntemin en büyük avantajlarından biri de güçlendirilmek istenen bina kullanım durumundayken de uygulama yapılabilmesidir. Kompozit

güçlendirme malzemesi hızlı ve pratik olarak uygulanabilir olmasına rağmen yalnızca lif eksenine paralel çekme kuvvetlerini taşıyabildiğinden, uzman kişilerin denetiminde yönü doğru seçilecek şekilde teşkil edilmelidir.

FRP kompozit malzemeler yapıya çubuk, şerit, tek yönlü plaka, kumaş veya çift yönlü örtüler şeklinde uygulanarak yapının yatay yük taşıyabilme kapasitesi ve sünekliliği mevcut durumun üzerine çıkarılabilir. Çubuk şeklinde yapılan güçlendirmede yığma yapıların derz araları 7-10 cm açılarak LP kompozitler yerleştirilir. Şekil 2.15. ve 2.16.'da uygulamaya dair detaylar gösterilmiştir. 1 ile gösterilen kısım yatay yönde yerleştirilen karbon çubuğu, 2 gösterimi harç malzemesini, 3 numaralı gösterim mevcut duvarı ve 4 numara ise güçlendirilen duvar bölümü ifade etmektedir.



Şekil 2.15. LP çubuk ile güçlendirme [28]



Şekil 2.16. LP çubuğun yerleştirilme detayı [28]

Yığma duvar yüzeyine şerit veya kumaş şeklinde de uygulanabilen lifli polimerler ihtiyaca göre tek veya çift taraflı teşkil edilebilir. Söz konusu elemanların yüzeye

yapıştırılmasında genellikle epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılır. LP yöntemi ile iyileştirilen duvarların yüzeylerine sıva, boya gibi işlemler yapılabildiği halde tercihen 7 günlük bir süre bu tarz işlemlerin yapılmaması FRP'nin dayanımını kazanması açısından önemlidir. Şekil 2.17. ve 2.18.'de karbon ve cam fiber esaslı polimerlerin şerit ve kumaş şeklinde uygulanması sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 2.17. CFRP uygulaması ile güçlendirme [35]



Şekil 2.18. Cam fiber kaplama ile güçlendirme

Ayrıca tekstil malzemenin yüzeye yapıştırılması için epoksi gibi bir organik bağlayıcı yerine inorganik sıvaların kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur. Literatürde tekstil donatılı harç uygulaması (TRM) olarak ifade edilen bu güçlendirme türüne ait görseller Şekil 2.19.'da verilmiştir.



Şekil 2.19. TRM uygulaması ile güçlendirme [36]

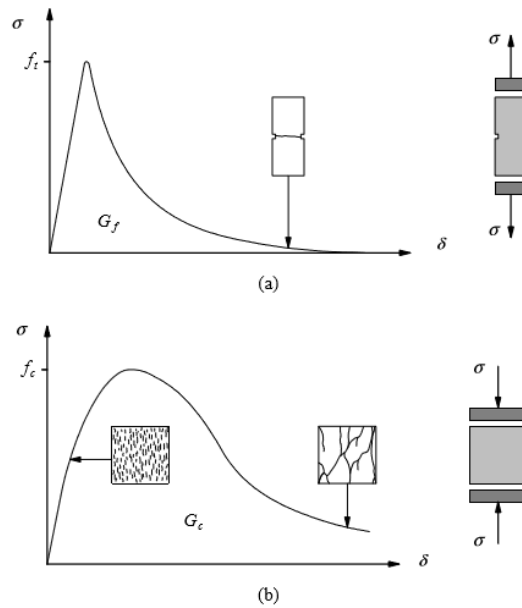
Genel olarak lif takviyeli polimer ile güçlendirme tekniği, özellikle anıtsal nitelik taşıyan yığma yapıların kuvvetli yer hareketi etkisinde toptan göçmesini önlemek, tarihi yapısını koruyarak orijinal görüntüsünü bozmamak açısından dikkat çekicidir. Uygulanan klasik iyileştirme tekniklerinde yapının doğal görünümünden uzaklaşması, ağırlığının artması, çelik ve betonarme gibi elemanların yığma yapı elemanlarıyla uyumlu şekilde çalışmaması gibi negatif durumlar, özellikle tarihi binalarda fiber takviyeli polimer ile güçlendirmeyi cazip kılmaktadır. Şekil 2.20.'de I. Justinianus tarafından yaptırılan tarihi Küçük Ayasofya Camisi'nin LP tekstil malzemesi ile iyileştirilmesi görülmektedir.



Şekil 2.20. LP kumaş ile güçlendirme [28]

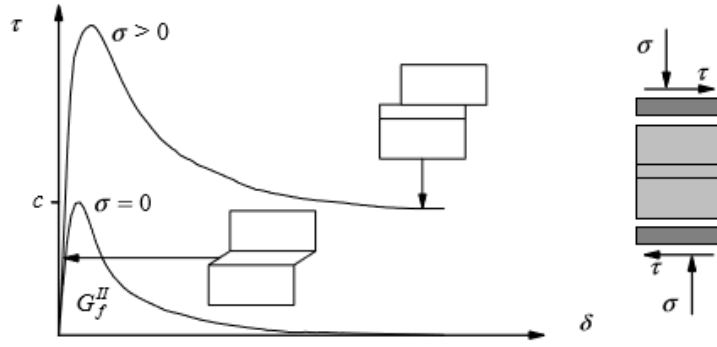
2.6. Yığma Yapılarda Davranış Biçimleri

Yığma yapılar veya tuğla, harç gibi yarı kırılğan (quasi-brittle) elemanların sürekli artan yük etkisinde yer değiştirme yapmaya zorlanmaları sonucu mekanik dirençlerinin azalması literatürde yumuşama (softening) olarak geçmektedir. Bu davranış biçimi elemanların yüzey pürüzlülüğü, boşluk oranı ve farklı fazlar içermesi gibi sebeplerden ötürü malzemenin heterojen yapısına dayandırılır. Yükleme yapılmadan öncesinde dahi, kullanılan harç uygun kür yapılmaması veya agrega içeriğine göre mikro çatlaklar içermektedir. Benzer şekilde yığma tuğla birimlerde de üretim kaynaklı mikro çatlaklar mevcuttur. Malzemenin bu ideal olmayan ve kendi içerisinde tutarsızlık gösteren rijitlik ve dayanım özellikleri, deformasyon kontrollü yüklemeye maruz bırakılan yığma elemanlarda içsel çatlakların genişlemesine ve kararsız davranış biçimlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Yüklemeye başlamadan önce mevcut çatlaklar sabittir ve bu durum basit bir bakış açısıyla artan yük etkisinde çatlakların genişlemesi beklentisini oluşturur. Ancak maksimum yük dolaylarında çatlak oluşumu hızlanarak mikro düzeyden makro düzeye geçer. Bu durum, kontrolsüz bir çatlak büyümesinden kaçınmak için yükün aniden azalmasını gerekli kılar. Şekil 2.21.'de yığma duvar elemanlarının çekme ve basınç gerilmesi etkisindeki davranış biçimi gösterilmiştir [37].



Şekil 2.21. Yığma elemanların çekme (a) ve basınç (b) gerilmesi etkisindeki davranışı [37]

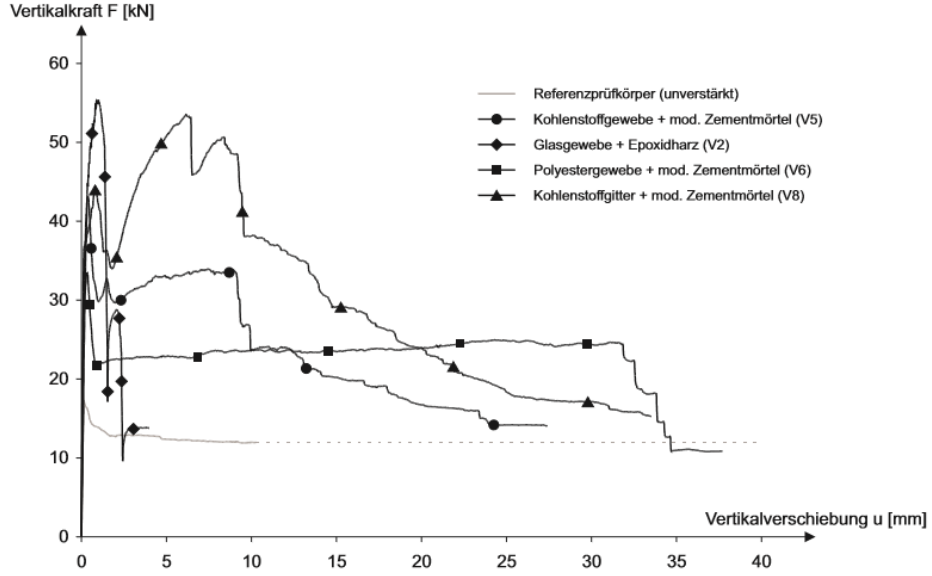
Ancak gelen deprem kuvveti etkisinde yığma yapı elemanları kaymaya zorlandığından kesme kuvveti etkisindeki davranışlarını incelemek önem arz etmektedir. Yığma birim ve harç arayüzeyinde meydana gelen kayma ile karakterize edilen bu mekanik davranış biçimi Şekil 2.22.'de verilmiştir.



Şekil 2.22. Kesme kuvveti etkisindeki yığma yapıların mekanik davranışı [37]

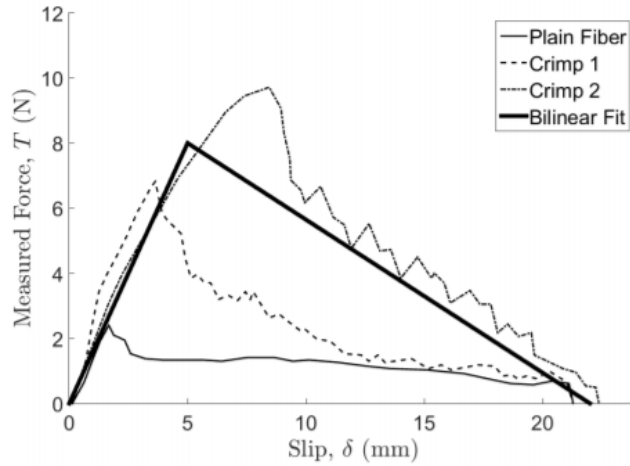
Şekil 2.22.'den anlaşılacağı üzere yığma elemanın kayma davranışı basınç gerilmelerinden bağımsız düşünülemez. Artan basınç gerilmeleri etkisinde kayma gerilmesi değeri de artmaktadır.

Yığma yapılar inşa edilirken kullanılan elemanların kendi içerisinde tutarsız mekanik davranışları; derz harcı, sıva uygulaması ve güçlendirme amacıyla kullanılan lifli kompozitlerin kullanımı ile daha karmaşık bir hal almaktadır. Taş, tuğla, briket gibi yığma elemanları birbirine bağlamak için kullanılan ve içeriği tek bir standart ile tarif edilemeyen çeşitli harç uygulamalarının yığma yapı davranışı üzerindeki etkisi işçilik inisiyatifi gibi durumlarla da birleşince davranışı anlamak ve yorumlamak oldukça güç bir hale gelmektedir. Benzer şekilde güçlendirme gayesiyle çok çeşitli içeriklerde üretilen lifli polimer uygulaması da çeşitli bilinmeyenler içermektedir. Yapılan bir takım deneysel çalışmalar ile farklı içeriklerde lifli polimer uygulamasının yığma yapı kesme davranışı üzerindeki etkisi Şekil 2.23.'de gösterilmiştir [15].



Şekil 2.23. Farklı içeriklerde lifli polimer uygulamasının yığma eleman davranışına etkisi [15]

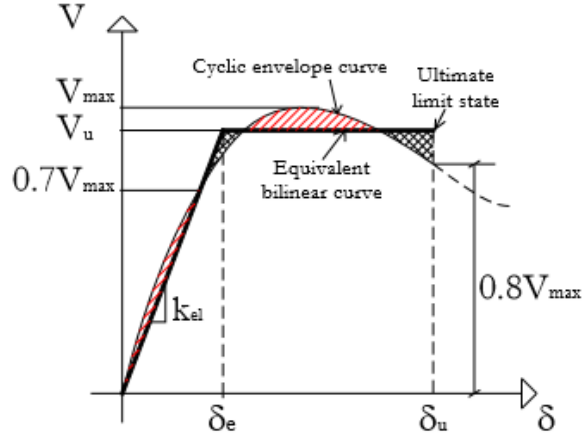
Bu eğriler idealize edilerek FRC uygulamasının yığma elemanın enerji yutma kapasitesine etkisi basit yaklaşımlarla ifade edilebilir [38].



Şekil 2.24. Kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin bilineer hale getirilmesi [38]

Literatürde yığma yapıların süneklik kapasitelerini belirleyebilmek amacıyla birçok yöntem önerilmiştir [39]. Dolayısıyla herhangi bir elemanın süneklik kapasitesini kesin bir rakamsal değer ile ifade etmek gerçekçi değildir. Bu çalışmada temel olarak kullanılan yaklaşım, kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin altında kalan alan ile çizilen bilineer eğri altında kalan alanların eşitliği prensibine dayanmaktadır.

Magenes ve Morandi [40] gerçekleştirdikleri bir takım deneyler sonucunda elde edilen zarf eğrisinin, eşdeğer bilineer eğri yardımıyla idealleştirilmesiyle süneklik katsayılarını hesaplamışlardır (Şekil 2.25.). Bu çalışmada da kuvvet-yer değiştirme eğrileri benzer yöntemle idealize edilerek numunelerin enerji sönümlenme kapasiteleri belirlenmiştir.



Şekil 2.25. Zarf eğrisinin bilineer duruma getirilmesi [40]

$$k_{el} = \frac{V_{CR}}{\delta_{CR}} \quad (2.2)$$

$$V_{CR} = 0,7V_{max} \quad (2.3)$$

$$V_U = k_{el} \left[\delta_U - \sqrt{\delta_U^2 - \frac{2 * A_{envelope}}{k_{el}}} \right] \quad (2.4)$$

$$\delta_e = \frac{V_U}{k_{el}} \quad (2.5)$$

$$\mu = \frac{\delta_U}{\delta_e} \quad (2.6)$$

BÖLÜM 3. TAŞIYICI YIĞMA TUĞLA ELEMANLARIN ÜÇ NOKTALI KESME DENEYLERİ İLE KAYMA DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ

3.1. Genel Bilgiler

Bu çalışma kapsamında yürütülen deneyler Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'ne bağlı yapı malzemesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın amacı, düşey boşluklu yığma tuğla elemanlar ile oluşturulan numunelerin alkali dirençli cam ve polipropilen esaslı, hibrit ve çok eksenli bir sismik tekstil malzemesi ile çeşitli şekillerde güçlendirilerek; bahsi geçen güçlendirme sisteminin kayma dayanımına etkisinin araştırılmasıdır. Deney programı ve yöntemi belirlenirken, tuğla duvar numuneleriyle yapılan çeşitli güçlendirme çalışmaları incelenmiş ve yığma duvarların farklı içeriklerde polimerler ile güçlendirilmesini konu alan çalışmalarda izlenen yol dikkate alınmıştır. Bu araştırmanın parametreleri, deprem kumaşının tuğla numunelere tek veya çift taraflı uygulanması ve uygulama esnasında kullanılan farklı tipte iki özel yapıştırma sıvasının takviye işlemine etkisi olarak belirlenmiştir. Söz konusu yüzey bağlayıcı sıvalardan biri beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı (Tip S), diğeri ise genleştirilmiş cam kürecik esaslıdır (Tip T). Tip S sıva Almanya'dan ithal edilmiş olup Tip T sıva ise yerli üretimdir. Ayrıca güçlendirme kumaşının kullanılmadığı referans numunelerin ve klasik çimento harcı ile tek taraflı sıva yapılarak üretilen numunelerin kayma dayanımı ve süneklik kapasitelerinin incelenmesi de çalışmanın kapsamı içerisinde yer almaktadır. Araştırmanın küçük bir bölümü ise farklı bir deney düzeneği kullanılması durumunda kayma dayanımının ne şekilde değiştiğine odaklanmaktadır. Bunun sebebi, basınç gerilmesi miktarının artmasının kayma dayanımını ne ölçüde değiştireceğini incelemektir. Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan bütün

tuğlaların cinsi, boyutları, numune boyları ve harç karışım oranları ise deney sabitleri olarak belirlenmiştir.

3.2. Deney Programı

Deneysel çalışma, malzeme özelliklerinin belirlendiği ön deneyler ve ana deneyler olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ön deneyler kapsamında, numune üretiminde kullanılacak tuğla elemanlar için basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tuğla birimlerin bir araya getirilmesi amacıyla kullanılan çimento harcı için eğilme ve basınç testleri yapılmıştır.

Yürütülen ana deneyler ise Deney I ve Deney II adı verilen iki başlık altında ifade edilmiştir. Deney I grubu 6 setten meydana gelmekte olup, her bir sette 3 adet numune olmak üzere toplam 18 adet tuğla duvar numunesi test edilmiştir. Tablo 3.1.'de numunelerin isimleri, güçlendirme şekilleri ve kullanılan bağlayıcı sıva türleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Deney I grubunda bulunan numunelerin özellikleri

Test Sayısı	Duvar Kodu	Duvar Malzemesi	Güçlendirilme Durumu	Yüzey Bağlayıcı Sıva	Uygulama Yüzeyi ve Kalınlığı
3	D1R00	Düşey Delikli Yığma Tuğla	Yok	Sıvasız	Referans
3	D1R01	Düşey Delikli Yığma Tuğla	Yok	Kum Sıva	Tek Taraflı-2 cm
3	D1G02	Düşey Delikli Yığma Tuğla	Var	Beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı özel sıva	Tek Taraflı-2 cm
3	D1G03	Düşey Delikli Yığma Tuğla	Var	Cam kürecik esaslı özel sıva	Tek Taraflı-2 cm
3	D1G04-S	Düşey Delikli Yığma Tuğla	Var	Beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı özel sıva	Çift Taraflı-2 cm
3	D1G04-T	Düşey Delikli Yığma Tuğla	Var	Cam kürecik esaslı özel sıva	Çift Taraflı-2 cm

D1X0Z şeklinde isimlendirilen numunelerde X notasyonu güçlendirme yapıp yapılmadığını (R ise güçlendirme kumaşı yok, G ise var), Z harfi ise kullanılan sıvanın türünü ifade etmektedir (0: Sıva yok, 1: Tek taraflı kum sıva, 2: Tek taraflı Tip S sıva, 3: Tek taraflı Tip T sıva). Bu deney grubunda D1G04-S ve D1G04-T seti

isimlendirilirken farklı bir yol izlenmiştir. Burada 4 rakamı, sıva türünü değil de güçlendirmenin çift taraflı olduğunu ifade etmektedir. Deprem kumaşını numune yüzeyine yapıştırmak için kullanılan bağlayıcıyı belirtmek için ise S (Tip S) ve T (Tip T sıva) gösterimleri kullanılmıştır.

Deney II grubu ise 2 seriden oluşmakta olup, benzer şekilde her bir seride 3 numune bulunmaktadır. Numunelere ait bilgiler Tablo 3.2.'de verilmiştir.

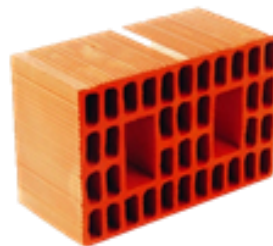
Tablo 3.2. Deney II grubunda bulunan numunelerin özellikleri

Test Sayısı	Duvar Kodu	Duvar Malzemesi	Güçlendirilme Durumu	Yüzey Bağlayıcı Sıva
3	D1R01-Y	Düşey Delikli Yığma Tuğla	Yok/Tek Taraflı	Kum Sıva
3	D1G03-Y	Düşey Delikli Yığma Tuğla	Var/Tek Taraflı	Cam kürecik esaslı özel sıva

D1R01-Y ve D1G03-Y serilerindeki örnekler, Deney I grubundaki D1R01 ve D1G03 setlerinde bulunan numuneler ile özdeş olmalarına rağmen, kullanılacak deney düzeneğinin bir takım farklılıklar içermesi sebebiyle ayrı bir grup altında incelenmişlerdir. İsimlendirme de kullanılan Y ibaresi, bu başlık altında test edilecek numunelere ait deney düzeneğinde bulunan yatay gerilme etkisine işaret etmektedir. Bu fark dışında, numuneler için etiketleme yapılırken Deney I başlığı altındaki numunelerle aynı yol izlenmiştir.

3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney I başlığı altında değerlendirilen testleri gerçekleştirmek için 18 adet numune üretilmiş ve üretilen deney numunelerinin hepsinde 290x190x135 mm boyutlarında ve yığma türde düşey boşluklu fabrika tuğlası kullanılmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Yığma tuğla duvar elemanı

Yığma bloğa ait teknik özellikler Tablo 3.3.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Tuğla eleman katalog değerleri

Ebat	cm	19x29x13.5
Boşluk Oranı	-	≤ %35
Sarfiyat	adet/m ²	22-35
Basınç Dayanımı	N/mm ²	10-15
Isıl Direnç	W/mK	0.32
Yangına Dayanım	-	A1
Tolerans	-	T1
Kategorisi	-	T1
Brüt Kuru Birim Hacim Kütlesi	kg/mm ³	700
Net Kuru Birim Hacim Kütlesi	kg/mm ³	1800

Her bir deney numunesi, 3 adet yığma tuğla duvar elemanının çimento:kum hacimsel oranı 1:4 olan derz harcı ile bağlanması suretiyle oluşturulmuş ve harç kalınlığı 12 mm seçilmiştir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Deney I grubuna ait üçlü numunelerin hazırlanması

Hazırlanan 18 adet numunenin 3 tanesi kum sıva ile tek taraflı ve 2 cm kalınlığında sıvanarak D1R01 kodlu numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.3.). Bu numuneler hazırlanırken güçlendirme kumaşı kullanılmamış, salt kum sıva etkisinin kontrol grubu numunelerine kıyasla kayma dayanımı ve sünekliği nasıl değiştirdiği araştırılmak istenmiştir. Uygulanan sıva, çimento/kum hacimsel oranı 1/4 olan tipik çimento harcıdır.



Şekil 3.3. Kum sıvalı numunelerin hazırlanması

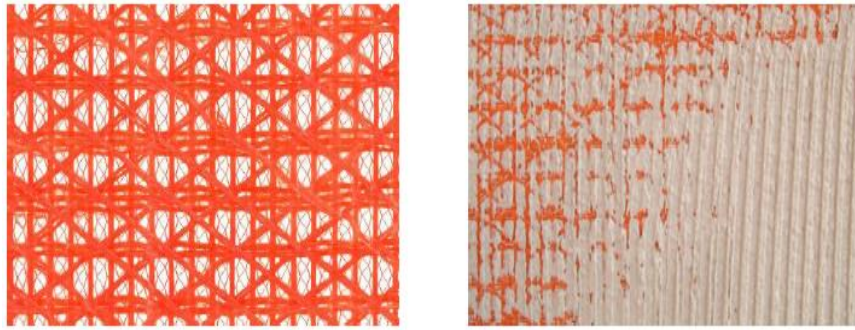
Deney II adı altında incelenecek olan D1R01-Y ve D1G03-Y setleri de Deney I grubundaki güçlendirmeli ve kum sıvalı numuneler ile özdeş olduğundan aynı şekilde üretilmiştir (Şekil 3.4.). D1G03-Y numunelerinde 2 cm kalınlığında Tip T yapıştırma sıvası deprem kumaşı ile birlikte kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Deney II grubuna ait üçlü numuneler

3.3.1. Güçlendirme işlemi

Üretilen üçlü numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin artırılması için Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü laboratuvarında on yıllık bir çalışma sonucu geliştirilen alkali dirençli cam elyaf ve polipropilen lif esaslı, çok eksenli hibrit bir tekstil malzemesi kullanılmıştır. Güçlendirme işlemi, bahsi geçen kompozit kumaş ve özel bağlayıcı sıvaların bir kombinasyonudur (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Hibrit deprem kumaşı ve sıvadan oluşan güçlendirme sistemi

Söz konusu kompozit kumaşa ait düşey, yatay ve diyagonal doğrultuda (60°) çekme mukavemetinin ortalama değerleri ise sırasıyla 2680 N/50 mm, 2100 N/50 mm ve 1222 N/85 mm'dir. Deprem kumaşı numune yüzeyine uygulanırken iki farklı türde yapıştırma sıvası kullanılmıştır. Genişliği 135 mm ve yüksekliği 290 mm olan üç adet tuğla ve derz harcı kalınlıkları dikkate alındığında sismik tekstil malzemesi yaklaşık 430 mm genişliğinde ve 290 mm yüksekliğinde kesilerek numune boyutları ile uyumlu şekilde uygulama yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken, takviye işlemi esnasında deprem kumaşı ve sıvanın numuneyi çevrelememesi gerektiğidir. Yani güçlendirme işleminin yalnızca numune yüzeyine yapılması ve numunenin alt, üst ve kenarlarına taşırılmaması gerekmektedir. Bunun sebebi sismik kumaşın gerçek hayattaki uygulanabilirliğini doğru temsil edebilmektir. Herhangi bir yığma yapıda bulunan duvarların güçlendirilmesi göz önüne alındığında, tekstil malzemenin duvarı çepeçevre saracak şekilde uygulanamayacağı açıktır. Deneysel çalışma sonrasında elde edilecek verilerin mevcut bir yığma duvarın güçlendirilmesi öncesi kaynak olabilmesi için yapılan çalışmaların günlük yaşantıdaki gerçekleştirilebilirliği önem arz etmektedir.

Üretilen numunelerden 4 tane güçlendirilmiş deney seti oluşturulmuş ve D1G02, D1G03, D1G04-S ve D1G04-T olarak isimlendirme yapılmıştır. Burada D1G02 kodlu deney setinde bulunan 3 adet numune D1G02-1, D1G02-2 ve D1G03-3 şeklinde ifade edilmiştir. Benzer isimlendirme diğer deney setleri için de geçerlidir. D1G02 test grubunda bulunan numuneler, beyaz çimento ve doğal su kireci içerikli bağlayıcı sıva (Tip S) ve deprem kumaşının birlikte kullanılmasıyla güçlendirilmiş

ve sıva kalınlığı 2 cm olacak şekilde numunenin tek yüzeyine uygulama yapılmıştır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Tip S sıva vasıtasıyla güçlendirilen numunelerin hazırlanması

D1G04-S grubunda bulunan numuneler de Tip S sıva ile güçlendirilmiş; fakat burada güçlendirme uygulaması numunenin her iki yüzeyine de sıva kalınlığı her bir yüzeyde 1 cm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. D1G03 kodlu deney setinde güçlendirme işlemi ise özel sismik kumaşın genişletilmiş cam kürecik içeren sıva (Tip T) yardımıyla numune yüzeyine tek taraflı yapıştırılmasıyla yapılmıştır (Şekil 3.7.). Sıva kalınlığı D1G02 numunelerinde olduğu gibi 2 cm'dir. D1G04-T setine ait numuneler de Tip T bağlayıcı yardımıyla çift taraflı güçlendirilmiş ve sıva kalınlığı numunenin her bir tarafında 1 cm olacak şekilde uygulanmıştır.



Şekil 3.7. Tip T sıva vasıtasıyla güçlendirilen numunelerin hazırlanması

3.4. Deney Düzeneklerinin Oluşturulması

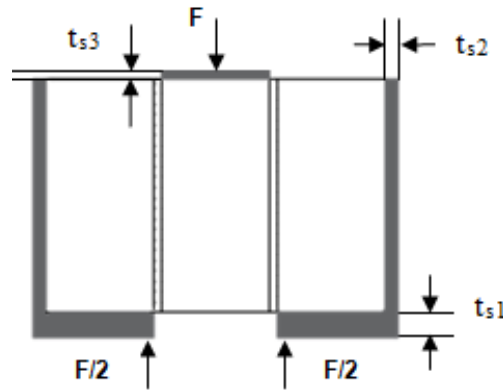
Bu çalışmanın amacı, kompozit sismik kumaş ile güçlendirilmiş düşey boşluklu tuğla duvar elemanlarının kesme kuvveti altında mekanik karakteristikleri ve çatlak formlarının belirlenmesi ve elde edilen verilerin güçlendirilmemiş referans numuneler ile karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Bu amaçla, hazırlanan tüm numuneler maksimum kuvvet kapasitesi 50 kN olan çekme-basma test cihazına entegre düşey yük kontrollü bir silindir vasıtasıyla ve yükleme hızı dakikada 1,5 mm olacak şekilde üç noktalı kesme deneylerine maruz bırakılmıştır. Kullanılan test cihazı SHIMADZU marka olup AGS-X serisindedir (şekil 3.8.).



şekil 3.8. Deneylerin gerçekleştirildiği basma-çekme test cihazı

Deneyssel araştırma kapsamında Deney I ve Deney II grubu için farklı iki test düzeneği kullanılmıştır. Deney I grubunda bulunan 18 adet numune için hazırlanan düzenek, diş kalınlığı $t_{s1}=30$ mm olan iki adet elik profil ve 220×135 mm boyutlarında ve $t_{s3}=12$ mm kalınlığındaki bir metal levhadan oluşmaktadır (şekil 3.9.). Kullanılan köşebentlerin yüksekliği 320 mm, genişliği 220 mm ve gövde kalınlığı $t_{s2}=12$ mm'dir. $290 \times 190 \times 135$ mm ölçülerindeki üç adet tuğlanın 12 mm kalınlığında derz harcı kullanılarak bir araya getirilmesiyle oluşturulan  l  numunelerin genişliği yaklaşık 430 mm'dir. Test cihazının genişliği 460 mm olduğundan, sağ ve soldaki tuğla bloklar ve L profiller arasına ahşap elemanlar

yerleştirilerek; numunenin sıkıştırılması amaçlanmıştır. Burada L profillerin t_{s2} kalınlığının daha büyük seçilmesi yerine ahşap eleman kullanımının iki sebebi vardır. Birincisi, tuğla boyutlarının her zaman katalog değerlerini yansıtamamasıdır. Ebatlar her ne kadar 290x190x135 mm şeklinde ifade edilse de bazen 3-4 mm mertebelerinde farklılık gösterebilmektedir. t_{s2} kalınlığının 12 mm değil de örneğin sınır değer olan 15 mm seçilmesi durumunda numuneler ve L profillerin toplam genişliği ile cihaz genişliği eşit olacak (460 mm) ancak olası bir işçilik hatası sebebiyle (tuğla genişliğinin 135 mm değil de 138 mm olması veya derz harcının 14 mm kalınlığında yapılması) numuneler cihaza yerleştirilemeyecektir. Diğer bir sebep ise tuğla elemanların yüzey kusurlarıdır. Söz konusu elemanların yüzeylerindeki pürüzler ve küçük şekil bozuklukları deney öncesi zımpara vasıtasıyla düzeltilse de L profil ve tuğla ara yüzeyinde ideal tam yapışma koşulunu sağlamak ve dolayısıyla numuneyi L profile tam anlamıyla sıkıştırmak güçtür. Tuğla elemanların yüzey kusurları sebebiyle oluşması muhtemel düzgün olmayan gerilme dağılımını önlemek ve iyi bir sıkıştırma yaparak numuneyi cihaza sabitleyebilmek için ahşap plakalar kullanılmıştır.

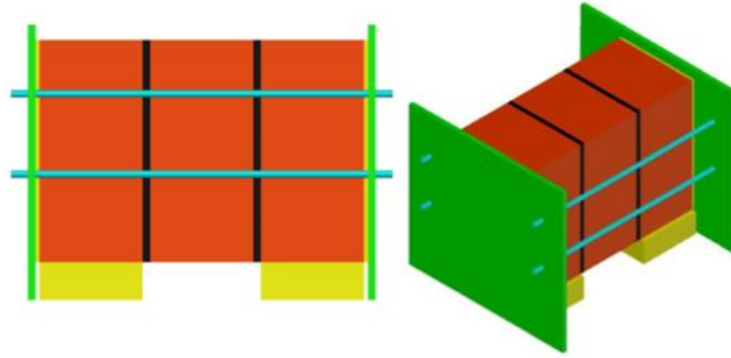


Şekil 3.9. Deney I grubuna ait deney düzeneğinin şematik gösterimi

Şekil 3.9.'da verilen deney düzeneğinde görüldüğü gibi ortada bulunan tuğla blok, derz noktalarından kaymaya zorlanarak yatay deprem etkisi temsil edilmek istenmiştir. Düşey kuvvetin uygulandığı alana 12 mm kalınlığında metal bir levha yerleştirilerek yük dağılımının düzgün iletilebilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca eğilme

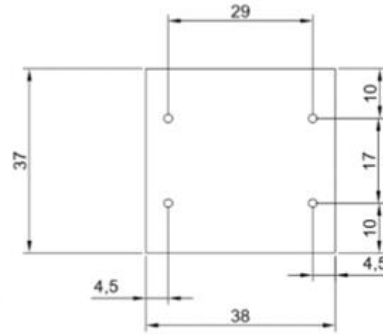
momentinin etkilerini azaltmak ve kayma davranışını gözlemleyebilmek maksadıyla numuneler iki adet L profil arasında sıkıştırılmıştır.

Deney II grubu için hazırlanan test ekipmanı bir takım farklılıklar içermektedir. Burada üçlü numuneler 230x135x35 mm boyutlarında kesilen iki metal mesnet üzerine oturtularak, sağ ve sol tuğla kenarlarına yerleştirilen çelik levhalarla sıkıştırılmıştır (3.10.).



Şekil 3.10. Deney II grubuna ait deney düzeneğinin şematik gösterimi

1 cm kalınlığındaki çelik kenar levhası ve ölçüleri (cm olarak) Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Deney düzeneğinde kullanılan metal levhaların görünümü ve boyutları

Deney I grubunda bulunan numuneler cihaza yerleştirilirken, her numunenin eşit yanal sıkıştırmaya maruz kaldığı varsayımı yapılmıştır. Ancak bu sıkıştırmmanın mertebesi bilinmediğinden aynı sete ait numunelerden elde edilen sonuçlar arasındaki bazı farklılıklarının bu sıkıştırmaya miktarı bilindiğinde ne derece

yakınsayacağı merakı Deney II düzeneğine ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur. Bu gruptaki numuneler değeri bilinen bir yatay gerilme etkisinde (0,2 MPa) incelenmek istenmesine rağmen deneylerin gerçekleştirildiği çekme-basma cihazının böyle bir gerilmeyi oluşturacak yük hücresi bulunmadığından söz konusu yatay etkiyi sağlayabilmek amacıyla farklı bir yol izlenmiştir. 560 mm boyunda ve 15 mm çapındaki transmisyon mil, çekme testine tabi tutularak gerilme-şekil değiştirme ilişkisi incelenmiş ve 0,2 MPa gerilme altında yaptığı şekil değişimi ölçülmüştür. Daha sonra numune sağ ve solundaki plakalar üzerine açılan deliklere yerleştirilen bu miller ve miller üzerine yapıştırılan gerinim ölçerler (strain gauge) yardımıyla 0,2 MPa'lık gerilmeye karşılık gelen gerinim değeri okununcaya kadar cıvatalar ile sıkıştırılmıştır. Kullanılan gerinim ölçerler FLA-10-11-3L model olup, transmisyon millerin ortasına yapıştırılmıştır (Şekil 3.12.). Yapıştırılan yüzeyin düzgün olması önemli olduğundan, çelik millerin ortasında kalan yaklaşık 16 cm'lik bir bölüm dışsız (pürüzsüz yüzeyli) olacak şekilde yaptırılmıştır.



Şekil 3.12. Deney II grubuna ait testlerde kullanılan gerinim ölçerler

Kenar çelik levhalar ve numune arasına 370x270x20 mm boyutlarında kurşun levhalar konulmuştur. Bu sayede, plastik bir malzeme olan kurşun; tuğlanın kusurlu yüzeyinin sebep olacağı düzgün olmayan gerilme dağılımının etkisini minimize etmiştir. Aynı amaçla yükün uygulandığı orta tuğla üzerine de kurşun levha ve 12 mm kalınlığında metal levha yerleştirilmiştir. Ayrıca Deney I grubundan farklı olarak burada mesnete oturan tuğla yüzeylerinin pürüzlülüğü dikkate alınmış ve ilgili yüzey alanlarına da 135x230x20 mm ölçülerinde kurşun levhalar konulmuştur. Üçlü numune ortasındaki tuğlanın derz düzleminden aşağı doğru kayma miktarını ölçmek için mitutoyo adı verilen deplasman ölçerler kullanılmıştır.

3.5. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

3.5.1. Ön deneyler

Numune üretiminde kullanılan düşey boşluklu yığma türden fabrika tuğlası ile söz konusu elemanları bir araya getirme işlevi gören çimento harcının mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla bir takım deneyler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle çimento:kum hacimsel karışım oranı 1:4 olan derz harcı üzerinde eğilme ve basınç testleri yapılmıştır. Bu işlem için TS EN 196-1’de [41] belirtilen 40x40x160 mm boyutlarında üçlü prizmatik kalıplar kullanılmıştır (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Harç eğilme ve basınç dayanımının belirlenmesi için numunelerin hazırlanması

Hazırlanan 3 adet numune 27 gün kürde bekletilerek 28. gün eğilme ve basınç deneylerine maruz bırakılmıştır (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Derz harcının eğilme ve basınç dayanımlarının belirlenmesi

Deneylemler sonucunda elde edilen büyüklükler Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Harcın 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı

Numune No	Eğilme Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	2295	5,38	20200	12,63
2	2253	5,28	19300	12,06
3	2328	5,45	20300	12,69

28 günlük ortalama eğilme dayanımı 5,37 MPa, ortalama basınç dayanımı ise 12,46 MPa olarak hesaplanmıştır. Son olarak 290x190x135 mm boyutlarındaki yığma 3 adet tuğla birim üzerinde basınç deneyleri gerçekleştirilmiş (Şekil 3.15.) ve değerler sırasıyla 7 MPa, 13 MPa ve 10,1 MPa olarak belirlenmiştir. Burada ortalama basınç dayanımı değeri 10,03 MPa'dır. Numuneler üretilirken kullanılan boşluklu yığma tuğlalara ait basınç dayanımı aralığı üretici firma tarafından sağlanan kataloglarda 10-15 MPa olarak belirtilmesine rağmen test edilen 3 adet yığma birimden elde edilen ortalama değeri bu aralığın ancak alt sınırını sağlayabilmiştir.



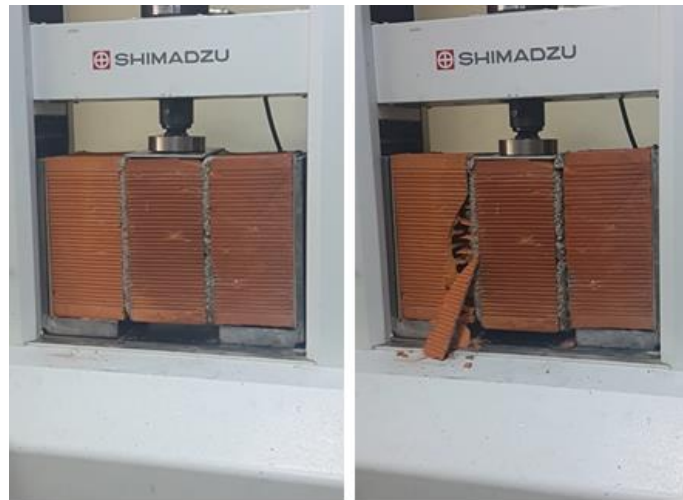
Şekil 3.15. Yığma tuğlanın basınç dayanımının belirlenmesi

3.5.2. Deney I grubuna ait ana deneyler

Bu başlık altında 6 farklı deney seti bulunmaktadır (bkz. Tablo 3.1.). Her bir deney setinde 3 tane özdeş örnek olmak üzere toplamda 18 adet numune test edilmiştir.

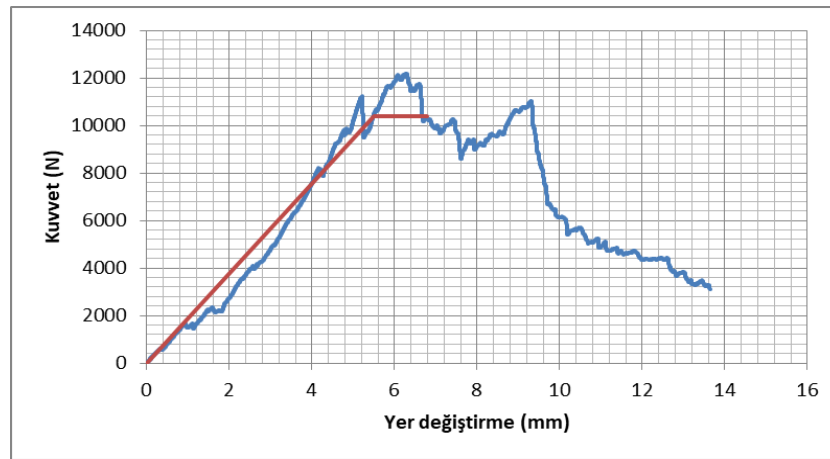
3.5.2.1. D1R00 kodlu numunelerin test edilmesi

D1R00 seti, güçlendirilmemiş referans numuneleri ifade etmektedir. Bu sette bulunan örnekler sırasıyla D1R00-1, D1R00-2 ve D1R00-3 olarak isimlendirilmiştir. Öncelikle numunelerin konuşlandırılacağı iki adet çelik L profil cihaza yerleştirilmiştir. Daha sonra üçlü numunenin mesnetlere oturduğu alt yüzeyleri ile çelik köşebentlere dayandığı yan yüzeyleri üretim kaynaklı olan şekil problemlerini en aza indirmek için zımparalanmıştır. Numune L profillere yerleştirildikten sonra; profil ile sağ ve sol tuğla arasında kalan boşluk, ahşap plakalar ile doldurularak numunenin hareket etmesi engellenmiş ve bir ön sıkıştırma sağlanmıştır. Burada sıkıştırmanın miktarı bilinmemekle birlikte her bir test numunesi için bu değer aynı olacağı varsayımı yapılmıştır. Son olarak orta tuğla üzerine konulan metal levha ile sistem teste hazır hale getirilmiştir. Deneye başlamadan önce ortadaki duvar eleman yaklaşık 20 N'luk bir yükü düşey yönde itilmiş, böylece metal plaka ile tuğla blok arasındaki boşluk miktarı giderilmeye çalışılmıştır. Özetle, bir ön sıkıştırma yapılarak numunenin mevcut deney düzeneğine tam olarak oturtulması ve ideal deney koşullarının oluşturulması amaçlanmıştır. Yükleme hızı 1,5 mm/dk olan düşey yük kontrollü silindir vasıtasıyla kesme kuvvetine maruz bırakılan D1R00-1 kodlu numuneye ait deney öncesi ve sonrası durumları Şekil 3.16.'da verilmiştir.



Şekil 3.16. D1R00-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Deney yaklaşık 9 dakika sürmüş ve derzlerde başlayan kırılma, tuğla duvar elemanlarının da çatlayarak kırılmasına sebep olmuştur. Taşınabilen maksimum kesme kuvveti 12 kN mertebelerine ulaştıktan sonra numune yatay yük taşıma kapasitesini büyük oranda yitirmiş ve maksimum deplasman değeri yaklaşık 7 mm iken ortadaki tuğla derz düzleminde ayrılarak aşağı doğru kaymıştır. 7 mm'den sonra okunan deplasman değerleri ortadaki tuğlanın davranışını temsil etmemekte olup cihaza sıkışan numunenin düzlemi dışında dönmesi ve orta tuğla üst yüzeyinin yük olarak ezilmeye devam etmesinden kaynaklanmaktadır. Burada numune yüzeyinde çok fazla kılcal çatlak gözlenmemiş, ani kırılmalar ile sistem göçme mekanizmasına ulaşmıştır. Deney sonuçları basma-çekme test cihazına bağlı bir bilgisayarda bulunan Trapezium yazılımı tarafından kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi şeklinde verilmiştir (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. D1R00-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

D1R00-1 numunesi için üç noktalı kesme deneyi altında elde edilen maksimum kesme kuvveti $F_{max}=12200$ N olarak ölçülmüş ve kayma gerilmesi, f_v , EN 1052-3'e [42] göre Denklem 3.1'de verildiği gibi hesaplanmıştır. Burada F_{max} , maksimum kesme kuvveti değerini, A ise tuğla duvar-harç ara yüzey alanını ifade etmektedir.

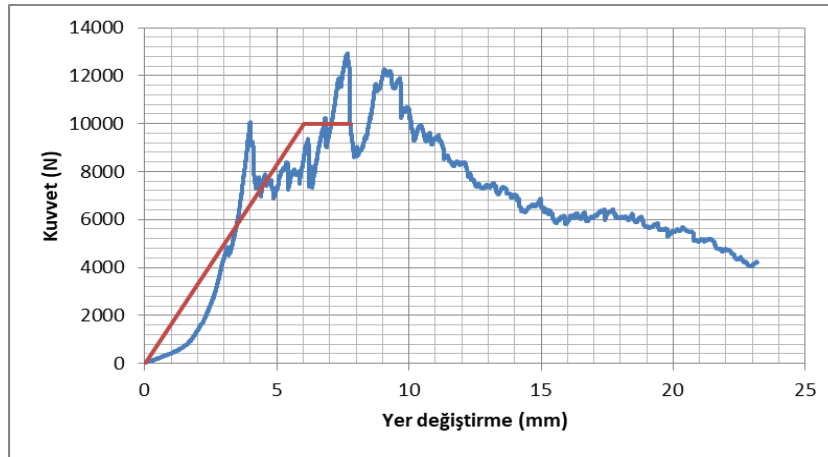
$$f_v = \frac{F_{max}}{2A} \quad (3.1)$$

Numunenin süneklik katsayısı Denklem 2.6 yardımıyla $\mu=1,23$ olarak hesaplanmıştır. D1R00 setine ait ikinci numune de benzer şekilde test edilmiştir. Numunenin yükleme öncesi ve sonrası görünümü Şekil 3.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. D1R00-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Kesme kuvvetine maruz bırakılan bu numune de ilk çatlaklar arka yüzeyde, sağ ve sol tuğlanın üst köşelerinde diyagonal formda meydana gelmiş, daha sonra tuğlanın mesnete oturduğu alt bölgesinde gerilme yığılmaları kaynaklı ezilme ve kırılmalar gözlenmiştir. Sağ tarafta bulunan tuğla tamamen parçalanmış ve ortadaki tuğla derz düzleminde kayarak gevrek bir göçme mekanizması oluşmuştur. Numuneye ait kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.19.'da verilmiştir.



Şekil 3.19. D1R00-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Bu numunede okunan maksimum kesme kuvveti değeri $F_{max}=12920$ N'dur. Yaklaşık 8 mm deplasman değerinden sonra orta tuğla aşağı doğru kaymış ve üst yüzeyi ezilerek arka tarafında kopmalar meydana gelmiştir. Bu durum numune üstündeki metal levhanın arkaya doğru dönmesine sebep olmuş ve düşey silindirin numuneyi düzgün şekilde yüklemeye devam etmesini engellemiştir. Dolayısıyla 8 mm deplasman değerinden sonra ölçülen değerler süneklik ile ilişkili olmayıp malzeme yüzeyinde meydana gelen ezilmeler ve kopmalardan kaynaklıdır. Ancak ilgili deplasman değerinde deney sonlandırılmamış, numune parçalanana ve cihaz deneyi otomatik sonlandırana kadar yüklemeye devam edilmiştir. Bu sebeple elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği yukarıda verildiği gibidir. Kayma gerilmesi değeri Denklem 3.1 yardımıyla $f_v=0,117$ MPa olarak hesaplanmıştır. Bu numuneye ait bilinear eğri ilk numuneye benzer yol izlenerek çizilmiş (Şekil 3.19.) ve süneklik katsayısı Denklem 2.6 yardımıyla $\mu=1,33$ olarak belirlenmiştir.

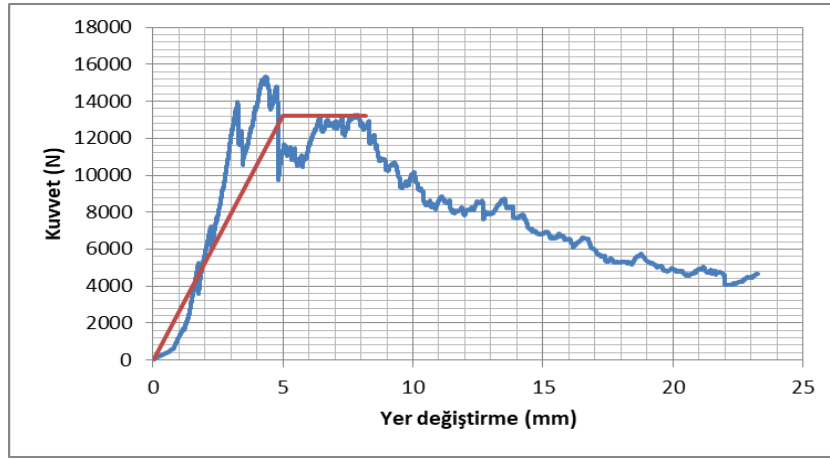
D1R00 deney setine ait son numune de kesme kuvvetine maruz bırakılarak derz düzleminden kaymaya zorlanmıştır. Numunenin yükleme öncesi ve sonrası durumu Şekil 3.20.'de verilmiştir.



Şekil 3.20. D1R00-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Bu numunede ilk çatlaklar sağ tarafta bulunan tuğlanın alt kısmında meydana gelmiştir. Kesme kuvveti maksimum değeri olan $F_{max}=15316$ N'a ulaşıttan sonra numunenin yatay yük taşıma kapasitesinde ani bir düşüş gözlenmiş ve ortadaki

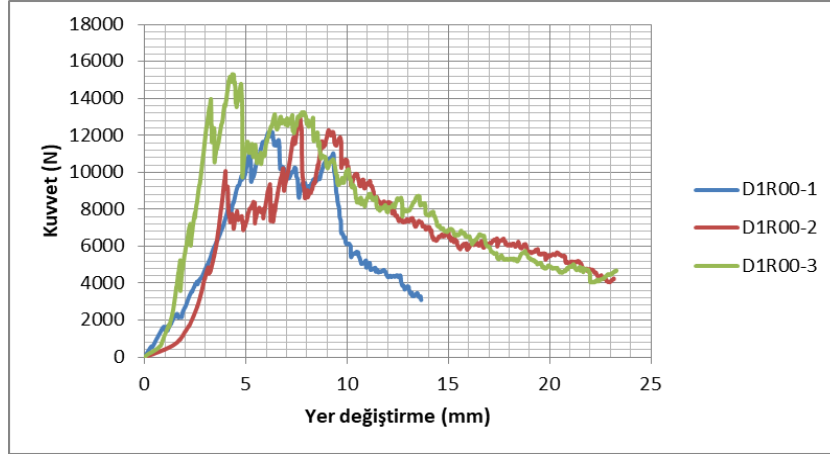
tuğlada oluşan çatlaklar oldukça genişlemiştir. Kullanılan tuğlaların 135 mm olması gereken kenarları, üretim kaynaklı kusurdan ötürü daha küçük olduğundan; numune L profillere yerleştirilirken, derz düzlemi L profilin bittiği noktaya denk gelmemiş ve mesnete oturan sağ tuğlanın derze yakın köşesinde gerilme yığılmaları meydana geldiğinden kırılmalar gözlenmiştir. D1R00-3 örneğine ait kuvvet-deplasman ilişkisi aşağıda verilmiştir (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. D1R00-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Numune ortasındaki tuğla blok ve harç ara yüzeylerinde gözlemlenen ani kayma sonrasında orta deplasman 8,2 mm olarak ölçülmüş ancak numune tamamen ezilmeden deney sonlandırılmayarak kayıt alınmaya devam edilmiştir. Belirlenen maksimum kesme kuvveti değerinin derz alanına bölünmesiyle hesaplanan kayma gerilmesi değeri $f_v=0,138$ ve kuvvet-deplasman ilişkisinin idealize edilmesiyle elde edilen süneklik katsayısı $\mu=1,64$ 'tür. İdealleştirilmiş eş değer kuvvet-deplasman ilişkisi de Şekil 3.21.'de gösterilmektedir.

D1R00 setine ait üç numunenin maksimum kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkileri Şekil 3.22.'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Numunelerden ilk iki tanesi maksimum kesme kuvveti kapasitesi ve şekil değiştirmelerin özellikle lineer olduğu bölgedeki davranış bakımından benzer özellikler gösterirken üçüncü numune daha büyük bir kesme kuvvetini taşımıştır. Ancak her üç numunede de okunan maksimum orta nokta deplasmanları (u_{mid}) yaklaşık eşit olup sırasıyla 7 mm, 8 mm ve 8,2 mm şeklinde ölçülmüş ve ortalama değer 7,7 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.22. D1R01 setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

Referans numunelere ait maksimum kesme kuvveti, kayma gerilmesi, orta tuğla maksimum deplasmanı ve süneklik katsayısı değerleri Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.5. D1R00 seti için hesaplanan mekanik büyüklükler

Numune İsmi	F_{max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ
D1R00-1	12200	0,110	7,0	1,23
D1R00-2	12920	0,117	8,0	1,33
D1R00-3	15316	0,138	8,2	1,64

Referans numuneler için elde edilen ortalama kesme kuvveti değeri 13479 N ve ortalama süneklik katsayısı 1,4 olarak belirlenmiştir.

3.5.2.2. D1R01 kodlu numunelerin test edilmesi

Deney I başlığı altında incelenen bu deney setinde 2 cm kalınlığındaki kum sıva, numune yüzeyine tek taraflı olarak uygulanmış ve deprem kumaşı kullanılmamıştır. Numuneler sırasıyla D1R01-1, D1R01-2 ve D1R01-3 şeklinde kodlanmıştır. Test ekipmanı referans numuneler ile aynı olduğundan, deney öncesi dikkat edilen hususlar ve izlenen prosedür Bölüm 3.5.2.1'de ifade edilenler ile benzerdir. Farklı olarak izah edilmesi gereken nokta ise 2 cm kalınlığında kum sıva L profillerin dışına taşırılmadan numunenin cihaza yerleştirilmesi gerekliliğidir. Başlangıçta bu durumun önemi dikkate alınmamış ve bu tezin kapsamı dışında tutulan bir numune, sıva dışarıda kalacak şekilde L profillere oturtulmuştur. Ancak numune teste tabi

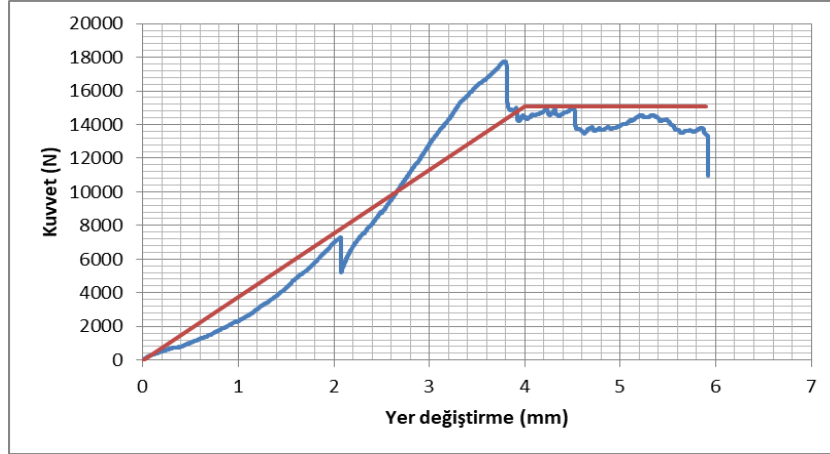
tutulduğunda, tuğlada ezilmeler ve parçalanmalar olmasına rağmen, derz düzleminden kayma gözlemlenememiştir. Bu sebeple tez kapsamındaki kum sıvalı tüm numuneler sıva ile birlikte tamamen L profiller arasında kalacak şekilde yerleşim yapılmıştır.

Test edilen ilk numuneye ait yükleme öncesi ve sonrası durum Şekil 3.22.'de verilmiştir.



Şekil 3.23. D1R01-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

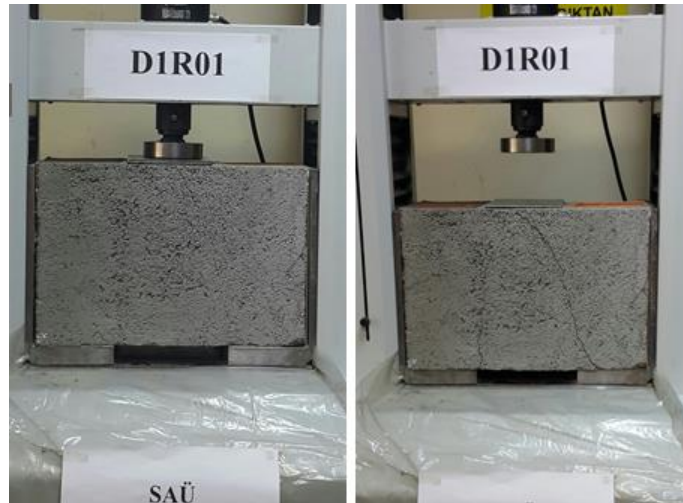
Şekil 3.23.'den anlaşılacağı üzere ortada bulunan tuğla derz düzleminden tamamen aşağı kaymadan, sıva yüzeyinde diyagonal çatlaklar görülmüş ve tuğlaların ezilip kırılmasıyla gevrek ve ani bir göçme mekanizması oluşmuştur. Kesme kuvveti 17000 N mertebelerine ulaştıktan sonra ani bir düşüş göstermiş ve bu sırada kum sıva numune sağ üst ucunda tuğlanın kırılmasıyla birlikte düzleminden ayrılarak öne doğru dönmüştür. D1R01-1 kodlu numuneye ait kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.24.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. D1R01-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

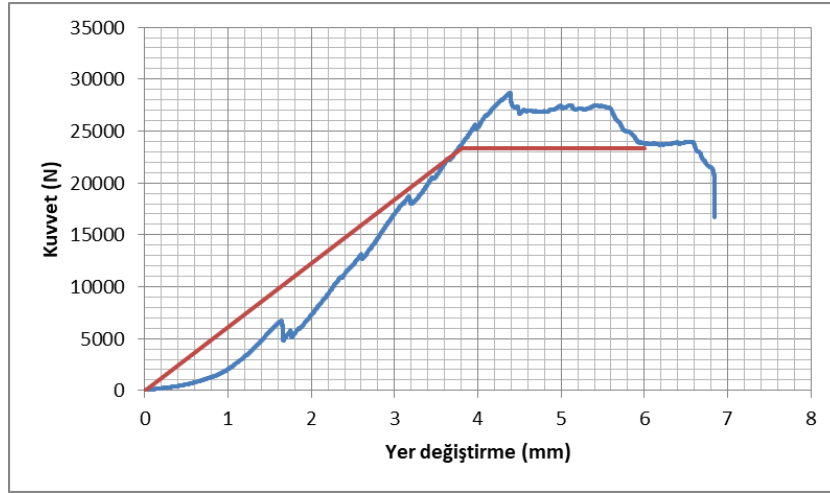
Bu numune için hesaplanan kayma gerilmesi değeri $f_v=0,161$ MPa ve süneklik katsayısı $\mu=1,48$ 'dir. Numuneye ait eş değer bilineer kuvvet-yer değiştirme ilişkisi de Şekil 3.24.'de verildiği gibidir.

D1R01 setine ait ikinci numunenin deney öncesi ve sonrası durumları aşağıda verilmiştir (Şekil 3.25.). Burada ilk numuneden farklı olarak çatlaklar numune alt kısmında tuğla-harç ara yüzeyinden başlamış ve yukarı doğru genişleyerek ilerlemiştir.



Şekil 3.25. D1R01-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Numuneye ait kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 3.26. ile ifade edilmiştir. Maksimum kesme kuvveti değeri $F_{max}=28700$ N ve orta nokta maksimum deplasmanı 6 mm olarak ölçülmüştür. Göçme mekanizması, derz düzleminde çatlamaya başlayan numunede artan kuvvet etkisiyle aniden genişleyen çatlakların, kayma gerilmesine karşı direnci azaltmasıyla gevrek şekilde gerçekleşmiştir.



Şekil 3.26. D1R01-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

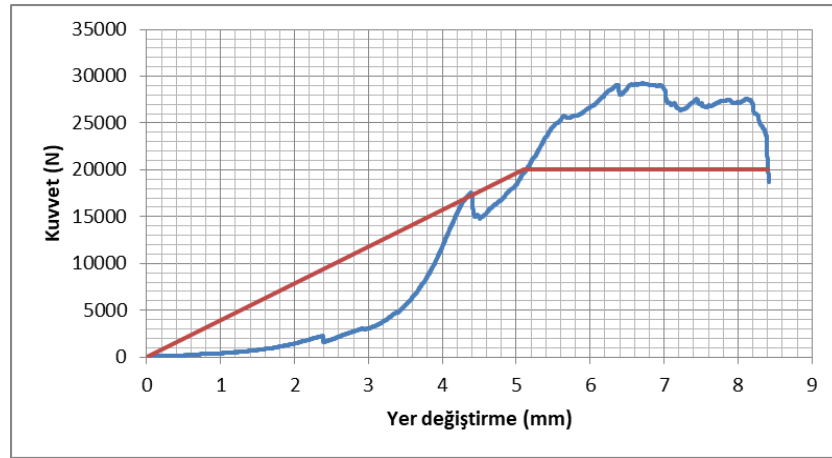
Bu numune için kayma gerilmesi değeri $f_v=0,260$ MPa olarak hesaplanmıştır. Yukarıda verilen zarf eğrisi bir önceki numune ile benzer şekilde idealize edilmiş ve süneklik katsayısı $\mu=1,58$ olarak saptanmıştır.

Kum sıvalı deney setine ait son numune olan D1R01-3 için test öncesi ve test sonrası durum Şekil 3.27.'de verilmiştir. Bu numunede düşey kuvvet etkisiyle zorlanan orta tuğla bloğun deney sonunda 8,4 mm'lik bir nihai deplasman yaptığı ve derz düzleminde aşağıya doğru kayma hareketi oldukça net gözlemlenmiştir. Çatlaklar, kuvvetin etkilendiği tuğla bloğun sağ ve sol tarafında derz düzlemine paralel olarak yaklaşık 17000 N'luk yük seviyelerinde başlamış ve aşağıya doğru genişleyerek ilerlemiştir. Yük $F_{max}=26000$ N mertebelerine ulaştığında orta tuğla büyük ölçüde derzlerden ayrılmış ve numunenin taşıdığı kesme kuvveti ani şekilde azalmıştır.



Şekil 3.27. D1R01-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

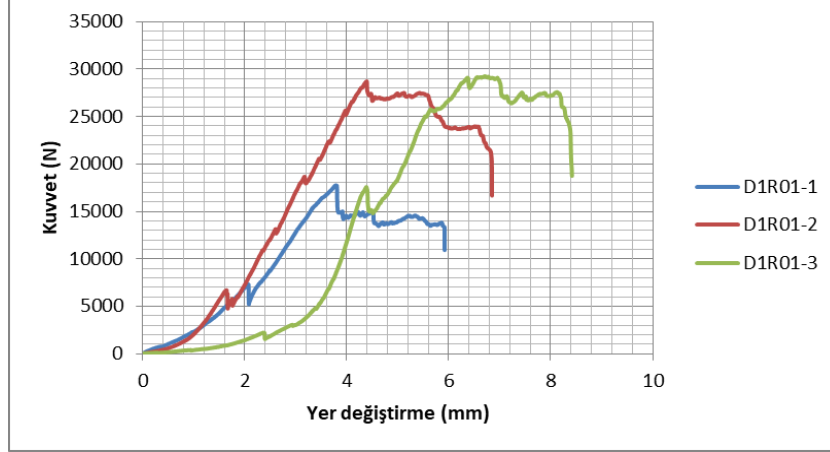
Şekil 3.28.'deki kuvvet-deplasman eğrisinden hareketle Süneklik katsayısı $\mu=1,66$ olarak belirlenen numunenin kayma gerilmesi değeri ise 0,265 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.28. D1R01-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Kum sıvalı D1R01 setine ait tüm testlerin sonuçları kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi bakımından karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 3.29.). Grafiklerden anlaşılacağı üzere kum sıvalı numuneler kendi içerisinde davranış bakımından tutarsızlıklar göstermektedir. D1R01-1 ve D1R01-2 numuneleri elastik bölgede benzer davranış sergilerken taşıyabildikleri maksimum kesme kuvveti değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Buna karşın D1R01-2 ve D1R01-3 numuneleri lineer

bölgede davranış bakımından farklılık gösterirken, maksimum kesme kuvveti değerleri birbirine oldukça yakındır. Bu tez çalışmasının kapsamı dışında tutulan 4 adet kum sıvalı özdeş numune daha denenmiş ve onlarda da benzer şekilde birbirinden farklı kuvvet-deplasman ilişkileri elde edilmiştir.



Şekil 3.29. D1R01 setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

Kum sıvalı numunelere ait maksimum kesme kuvveti, kayma gerilmesi, orta tuğla maksimum deplasmanı ve süneklik katsayısı değerleri Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. D1R01 seti için hesaplanan mekanik büyüklükler

Numune İsmi	F_{max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ
D1R01-1	17756	0,161	5,9	1,48
D1R01-2	28700	0,260	6,0	1,58
D1R01-3	29246	0,265	8,4	1,66

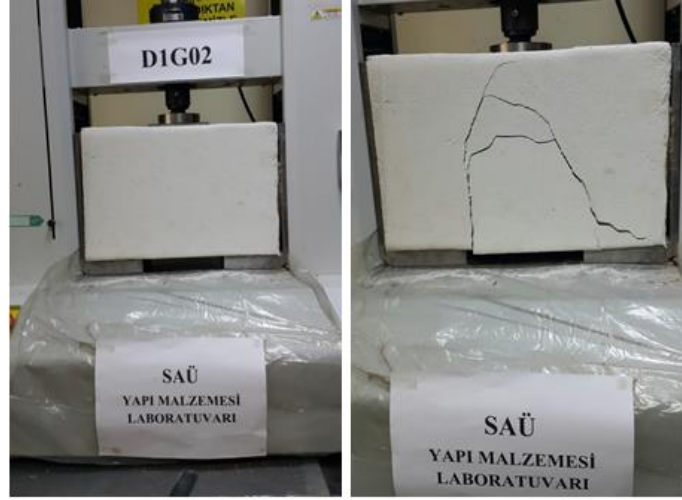
Bu numune için hesaplanan ortalama kesme kuvveti değeri 25234 N, orta tuğla deplasmanı 6,77 mm ve süneklik katsayısı ise 1,57 olarak belirlenmiştir.

3.5.2.3. D1G02 kodlu numunelerin test edilmesi

DeneySEL çalışmanın bu aşamasında beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı bağlayıcı sıva ile alkali dirençli cam içeren deprem kumaşı birlikte kullanılarak güçlendirilen numuneler test edilmiştir. Güçlendirme işlemi tek taraflı olup, sıva kalınlığı 2 cm

olacak şekilde uygulama yapılmıştır. Bu seriye ait numuneler sırasıyla D1G02-1, D1G02-2 ve D1G02-3 olarak isimlendirilmiştir.

Test edilen ilk numuneye ait deney öncesi ve sonrası durum Şekil 3.30.'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.30. D1G02-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

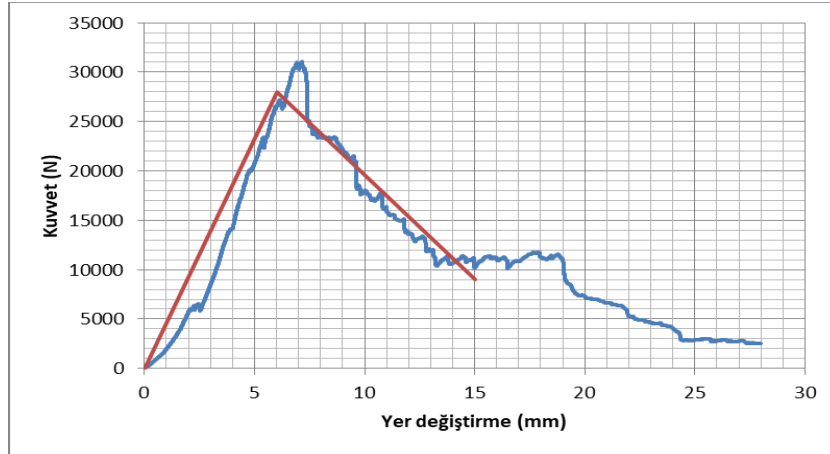
Bu numunede maksimum kesme kuvveti $F_{max}=31076$ N olarak okunmuştur. Yük bu mertebeye ulaşıncaya kadar ön yüzeyde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiş, maksimum seviyeye ulaştıktan sonra ise beklenmedik şekilde dayanımda ani bir düşme olmuştur. Numune yüzeyinde gözle görülür bir hasar olmamasına rağmen dayanımın aniden düşmesi, oldukça gevrek yapı elemanı olan tuğla birimlerin üretim veya nakliye aşamasında içeriden hasar almış olması ile izah edilebilir. Artan yük etkisinde gözle görülmeyen ve zaten zayıf olan iç kısımlarda meydana gelen kırılmalar dayanımdaki bu ani düşüşü açıklamaktadır. Daha sonra hasarlar numune dış yüzeylerinde de gözlemlenmiş ve tuğla duvar ile harç birleşim noktasından başlayarak yukarıya doğru kılcal çatlaklar oluşmuştur. Numune göçme mekanizmasına aniden ulaşmamış, kılcal çatlakların genişleyerek ilerlemesi ile mevcut enerji tüketilerek sünek bir davranış sergilenmiştir. Deprem kumaşı deney süresince parçalanmamış, numune yüzeyine güçlü bir aderans sağlayarak orta tuğla bloğun aniden aşağı kaymasını engellemiştir. Güçlendirilmenin asimetrik yapılmış

olması arka yüzeyde tuğla elemanın parçalanmasına sebep olmuş; ayrıca orta tuğla blok, numunenin güçlendirilmeyen arka yüzeyine doğru dönmüştür (Şekil 3.31.).



Şekil 3.31. D1G02-1 kodlu numunenin deney sonrası görünümü

Düşey yük etkisindeki orta blok derz düzleminde büyük oranda sıyrılıp aşağı doğru düzlem dışı hareket ettiğinde toplam kayma miktarı 15 mm olarak okunmuştur. Bu değerden sonra ölçülen deplasman değerleri, orta tuğlanın arka tarafa doğru dönmesi sebebiyle artık derz düzleminde kayma miktarını yansıtmamaktadır. Şekil 3.32.'de D1G02-1 nolu numuneye ait kuvvet-deplasman ilişkisi verilmiştir.



Şekil 3.32. D1G02-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Ölçülen maksimum kesme kuvveti değerine karşılık gelen kayma gerilmesi büyüklüğü $f_v=0,282$ MPa'dır. Şekil 3.32.'de verilen kesme kuvveti ve yer değiştirme arasındaki bilineer ilişkiden anlaşılacağı üzere numuneye ait süneklik katsayısı, maksimum deplasman değerinin elastik deplasman değerine oranı ile $\mu=2,5$ olarak hesaplanmıştır.

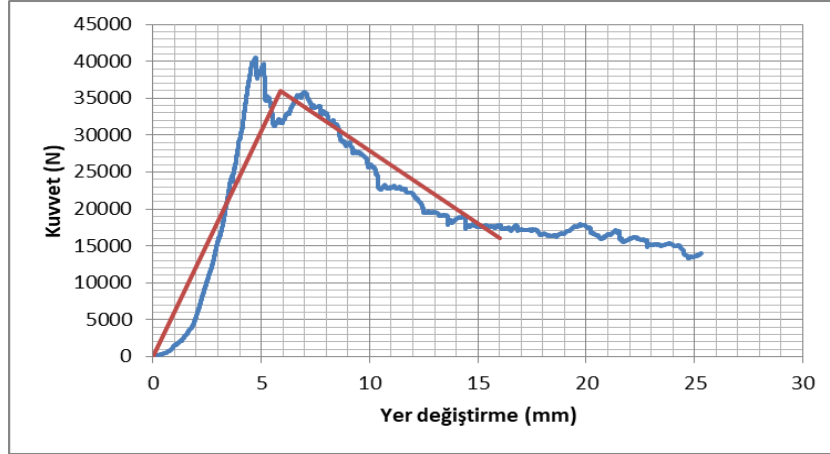
Bu deney setinde bulunan D1G02-2 nolu numune de benzer şekilde test edilmiştir. Numuneye ait deney öncesi ve sonrası görünüm Şekil 3.33.'de verilmiştir.



Şekil 3.33. D1G02-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Bu numunede maksimum kesme kuvveti ilk numuneden farklı olarak $F_{max}=40509$ N mertebelerine ulaşmıştır (Şekil 3.34.). Bu yük seviyesine ulaşıncaya kadar numunede herhangi bir gözlemlenebilir çatlak oluşmamıştır.

Numune maksimum kesme kapasitesine ulaştıktan sonra sağ alt derz düzleminde çatlaklar meydana gelmiş ve yukarıya doğru ilerlemiştir. Oluşan çatlakların genişlemesiyle yük seviyesinde ani düşüşler meydana gelmiş ve beyaz çimento-doğal su kireci içeren Tip S bağlayıcı sıvada yer yer dökülmeler gözlenmiştir. Bu dökülmelere rağmen güçlendirme kumaşı numune yüzeyinden ayrılmamış, orta tuğlayı tutarak ani toptan göçmeyi engellemiştir. Ayrıca tek taraflı güçlendirme etkisi bu numunenin de arka yüzeyinde tuğla blokların kırılıp parçalanmasına sebep olmuştur.



Şekil 3.34. D1G02-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Bu seriye ait ikinci numune için f_v kayma gerilmesi değeri $f_v=0,368$ MPa olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bilineer kuvvet-deplasman ilişkisi yardımıyla süneklik katsayısı $\mu=2,71$ olarak bulunmuştur.

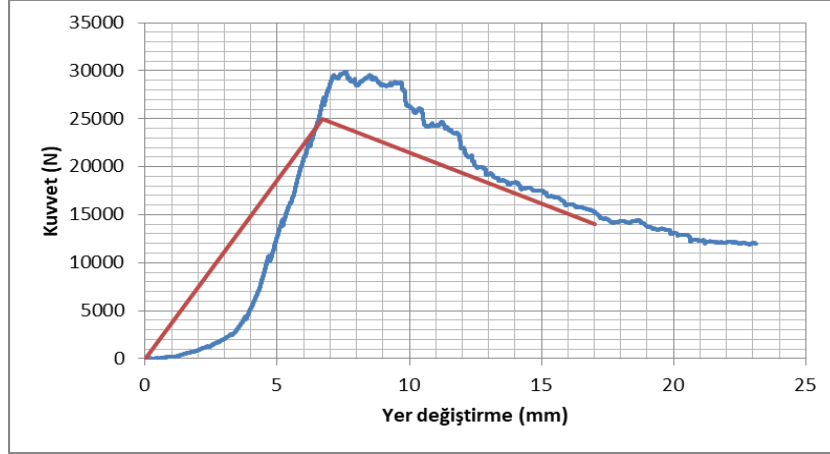
D1G02 kodlu deney setine ait son numunenin deney öncesi ve sonrası durumu aşağıda verilmiştir (Şekil 3.35.).



Şekil 3.35. D1G02-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Bu numune davranış bakımından aynı setteki ilk numune ile (D1G02-1) benzerlik göstermektedir. Taşınabilen maksimum kesme kuvveti değeri $F_{max}=29912$ N olarak

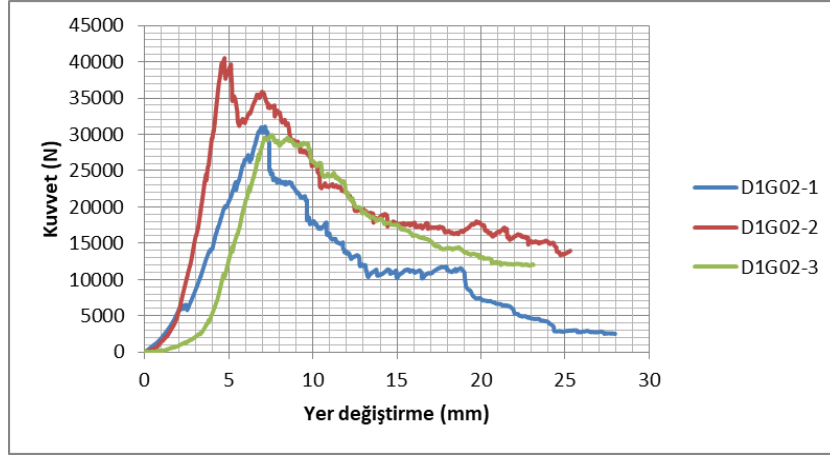
ölçülmüştür (Şekil 3.36.). Bu değere karşılık gelen kayma gerilmesi $f_v=0,271$ MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.36. D1G02-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Elde edilen zarf eğrisi idealize edilerek süneklik katsayısı $\mu=2,53$ olarak belirlenmiştir.

Tip S sıva ve sismik tekstil malzemenin birlikte kullanılmasıyla güçlendirilen D1G02 serisine ait kuvvet-yer değiştirme eğrileri Şekil 3.37.'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Burada özellikle birinci ve üçüncü numune mekanik davranış karakteristiği bakımından benzerlikler göstermektedir. Malzemenin doğrusal davrandığı kabul edilen elastik bölgeden, kalıcı deformasyonların başladığı plastik bölgeye geçiş noktası yani dolayısıyla burada okunan yük değeri bahsi geçen iki numune için birbirine oldukça yakındır. İkinci numune de okunan maksimum kesme kuvveti değeri ise serideki diğer numunelere kıyasla daha yüksek kalmıştır. Bunun sebebi, numuneler cihaza yerleştirilirken eşit şekilde sıkıştırıldıkları varsayımı yapılmasına rağmen gerçekte durumun böyle olmamasıdır. Yığma yapılar, normal kuvvet etkisinden bağımsız düşünülmemeyeceğinden bu kuvvetin etkisinin artması (D1G02-2 numunesinin daha fazla sıkıştırılmış olması) okunan kesme kuvveti değerini ve dolayısıyla da hesaplanan kayma gerilmesi miktarını arttırmıştır.



Şekil 3.37. D1G02 setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

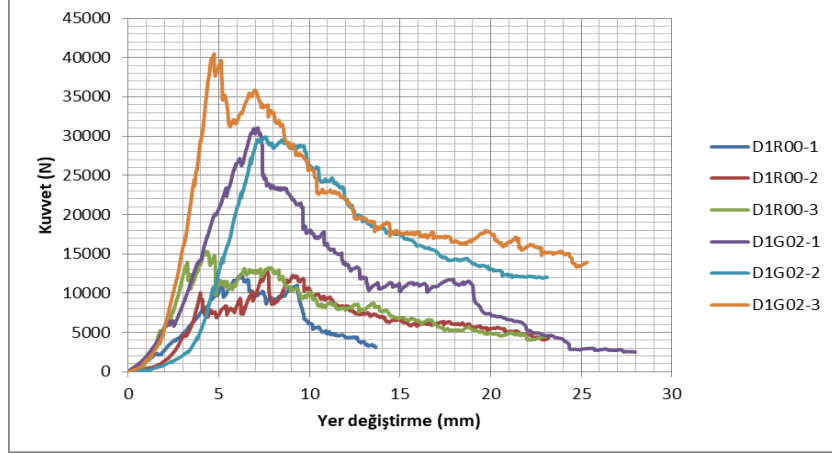
Deneysel çalışmanın sonuçlarından elde edilen bazı büyüklükler bu sete ait her üç numune içinde Tablo 3.7.'de verilmiştir.

Tablo 3.7. D1G02 seti için hesaplanan mekanik büyüklükler

Numune İsmi	F_{max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ
D1G02-1	31076	0,282	15	2,50
D1G02-2	40509	0,368	16	2,71
D1G02-3	29912	0,271	17	2,53

Burada hesaplanan ortalama değerler sırasıyla kesme kuvveti için 34166 N, orta tuğla deplasmanı için 16 mm ve süneklik katsayısı için 2.58'dir.

Şekil 3.38.'de D1G02 seti, referans numuneler ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Her iki grup için elde edilen süneklik katsayılarından hareketle; deprem kumaşının beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı sıva ile yapıştırılması sonucunda enerji yutma kapasitesi yaklaşık 1.8 kat artmıştır.



Şekil 3.38. D1R00 ve D1G02 setlerinin karşılaştırılması

3.5.2.4. D1G03 kodlu numunelerin test edilmesi

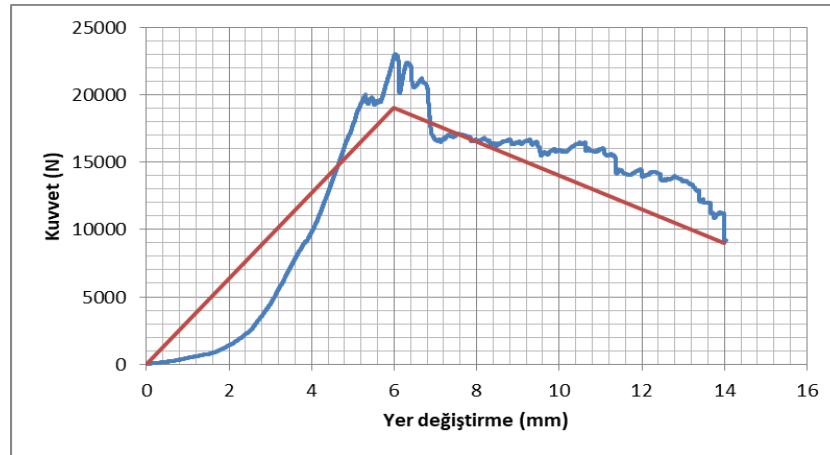
Çalışmanın bu bölümünde geliştirilmiş cam kürecik içeren bağlayıcı sıva ile alkali dirençli cam içeren çok eksenli hibrit deprem kumaşı birlikte kullanılarak güçlendirilen numuneler test edilmiştir. Güçlendirme işlemi tek taraflı olup, sıva kalınlığı 2 cm olacak şekilde uygulama yapılmıştır. Bu seriye ait numuneler sırasıyla D1G03-1, D1G03-2 ve D1G03-3 olarak isimlendirilmiştir.

Düşey yük etkisinde incelenen ilk numuneye ait deney öncesi ve sonrası görünüm Şekil 3.39.'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.39. D1G03-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Bu deney yaklaşık 13 dakika sürmüş ve ilk gözle görülebilen çatlak yük 20000 N mertebelerindeyken sağ alt derz başlangıç noktasında oluşmuştur. Maksimum kesme kuvveti değerine ($F_{max}=23032$ N) ulaşıldıktan sonra yükte ani bir düşüş meydana gelmiş ve sağ alttaki çatlak yukarıya doğru genişleyerek ilerlerken sol alt derz düzleminde de kılcal çatlaklar görülmeye başlanmıştır. Bu numune de orta tuğla önce sağ derz düzleminde ayrılarak yatay eksenle belli bir açı yapacak şekilde eğimli olarak aşağı kaymıştır. Deprem kumaşının bağlayıcı sıva ve dolayısıyla tuğla bloklar ile iyi aderans göstermesi ve sismik tekstilin parçalanmayarak numuneyi artan yük etkisinde tutması, kayma davranışının aniden (gevrek) olmasını engellemiş, enerji ön yüzeyde görülen kılcal çatlaklarla sünek bir şekilde tüketilmiştir. Güçlendirmenin her iki yüzeyde yapılmaması D1G02 numunelerinde olduğu gibi bu numunenin de arka yüzeyinde kopma ve parçalanmalara sebep olmuş, özellikle numunenin L profillere oturduğu sağ ve sol mesnet bölgelerinde gerilme yığılması kaynaklı hasarlar meydana gelmiştir. Numuneye ait kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.40.'da verilmiştir.



Şekil 3.40. D1G03-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

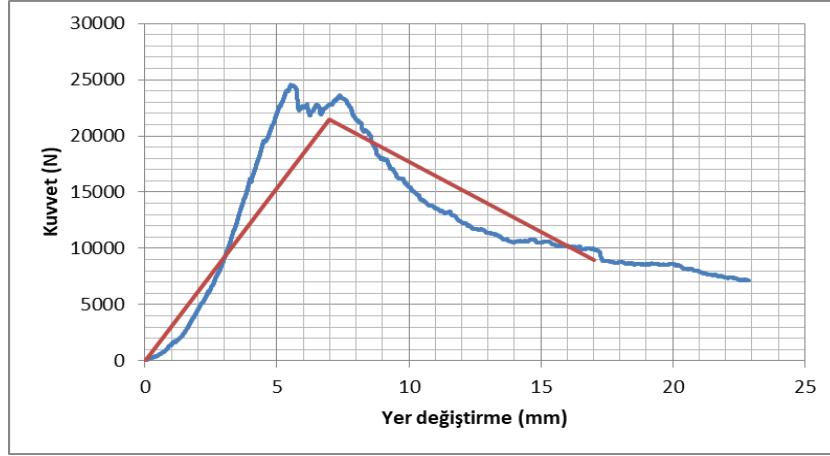
Belirlenen maksimum kesme kuvveti değerine karşılık gelen kayma gerilmesi $f_v=0,21$ MPa olarak hesaplanmış ve numuneye ait ideal elasto-plastik kuvvet-yer değiştirme ilişkisi de zarf eğrisiyle birlikte aynı grafikte sunulmuştur. Burada, numune derz düzleminde büyük oranda ayrıldığı an, orta ve kenar tuğlalar arasındaki kayma miktarı yaklaşık 14 mm olarak ölçülmüştür. Süneklik katsayısı $\mu=2,34$ olarak belirlenmiştir.

Bu deney setine ait ikinci numune de benzer şekilde test edilmiştir. D1G03-2 olarak adlandırılan bu numuneye ait deney öncesi görünüm ve deney sonrası çatlak formları Şekil 3.41.'de verilmiştir.



Şekil 3.41. D1G03-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

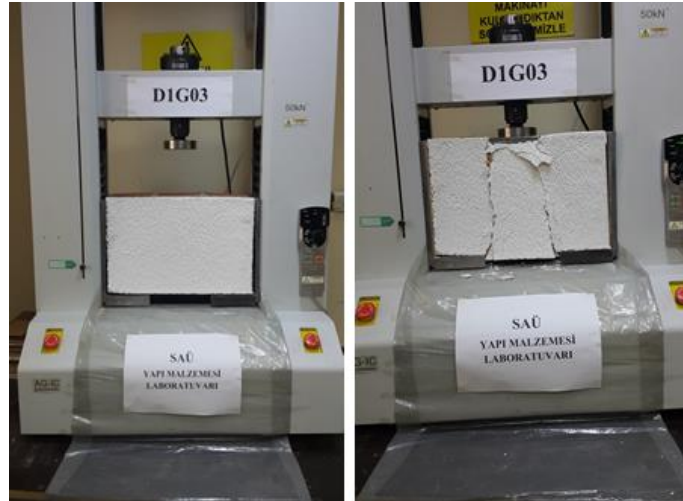
D1G03-2 numunesi maksimum $F_{max}=24548$ N kesme kuvvetini taşıyabilmiş, bu yük değerine ulaştıktan sonra ön yüzeyde diyagonal ve düşey çatlaklar meydana gelmiştir. Numunenin davranış biçimi aynı sette bulunan ilk numune ile benzerdir. Kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisinden görüleceği üzere kuvvette ani bir düşüş meydana gelmemiş, numune kalıcı deplasmanlar yaparak ve oluşan çatlakların genişlemesi suretiyle göçme mekanizmasına ulaşmıştır (Şekil 3.42.). 16 mm'lik deplasman değerinin okunmasıyla birlikte numune yatay yük taşıma kapasitesini %90 mertebelerinde yitirmiş ve orta tuğlanın derz düzleminden ayrıldığı ancak sismik kumaşın tutma etkisinden ötürü düşmediği görülmüştür.



Şekil 3.42. D1G03-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

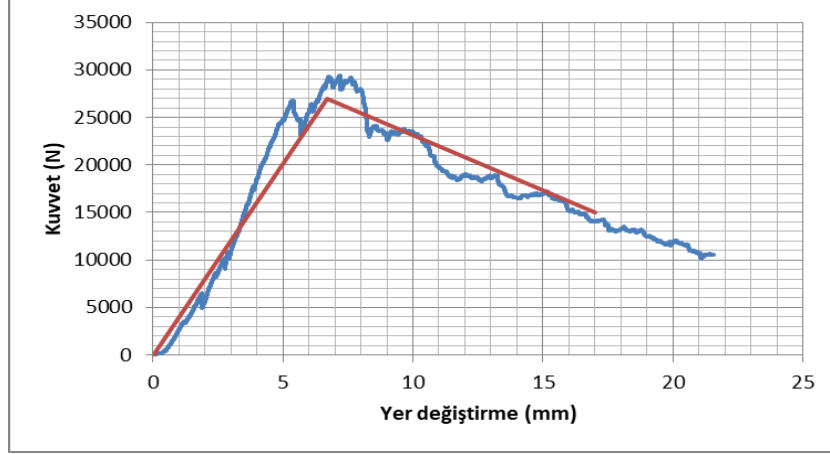
Bu numune için maksimum kesme kuvvetinin, sağ ve sol derz kesit alanlarının toplamına bölünmesiyle elde edilen kayma gerilmesi değeri $f_v=0,223$ MPa olarak saptanmıştır. Numuneye ait ideal elastoplastik kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.42.'deki gibidir. Bu ilişkiden hareketle süneklik katsayısı $\mu=2,43$ olarak belirlenmiştir.

D1G03 setine ait son numune de test edilerek deney sonrası oluşan çatlak biçimleri numunenin ilk hali ile birlikte Şekil 3.43.'de verilmiştir.



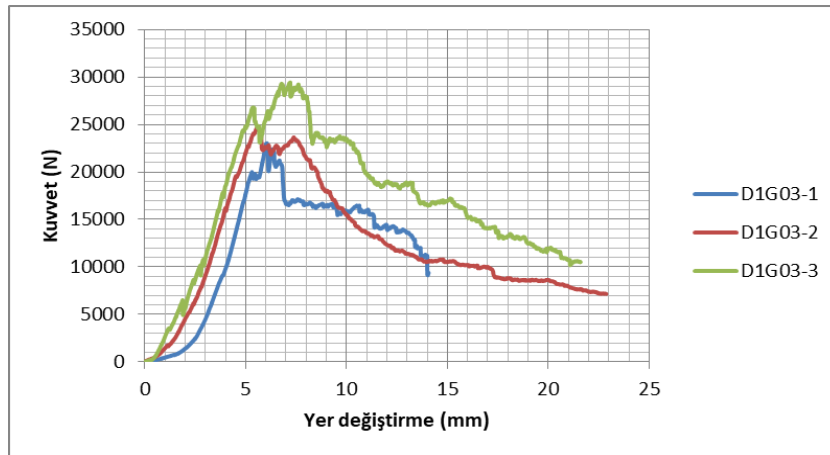
Şekil 3.43. D1G03-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Numunenin mekanik davranışı oluşan çatlak formları bakımından benzerlik göstermektedir. Maksimum kesme kuvveti $F_{max}=29426$ N olarak ölçülmüş, bu değere karşılık gelen kayma gerilmesi miktarı ise $f_v=0,267$ MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.44. D1G03-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Aynı sette bulunan diğer numuneler ile benzer şekilde, bu numune için de eş değer kuvvet-yer değiştirme ilişkisi belirlenmiş ve süneklik katsayısı $\mu=2,54$ olarak bulunmuştur (Şekil 3.44.). Bu deney setine ait tüm numunelerin kuvvet-yer değiştirme ilişkileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 3.45.). Maksimum kuvvetlere karşılık gelen deplasman değerleri ise D1G03-1 için 6,04 mm; D1G03-2 için 5,52 mm ve D1G03-3 için 7,2 mm olarak ölçülmüştür.



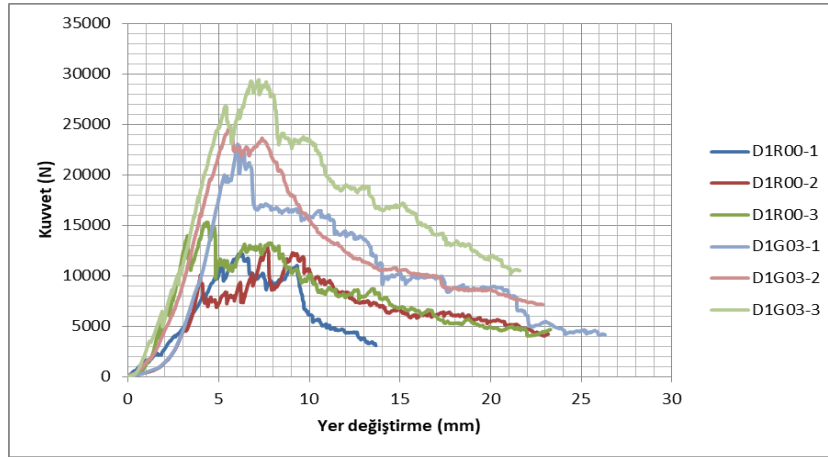
Şekil 3.45. D1G03 setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

Güçlendirme kumaşının Tip T sıva vasıtasıyla tek taraflı uygulandığı numunelere ait maksimum kesme kuvveti, kayma gerilmesi, orta tuğla maksimum deplasmanı ve süneklik katsayısı değerleri Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. D1G03 seti için hesaplanan mekanik büyüklükler

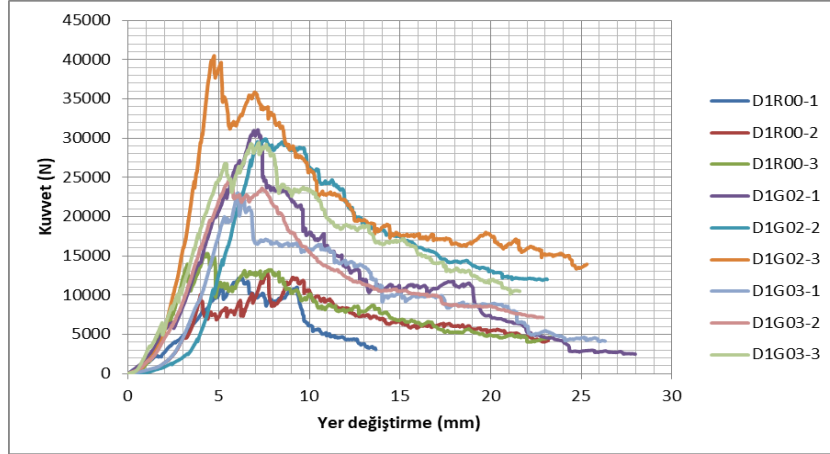
Numune İsmi	F_{max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ
D1G03-1	23032	0,209	14	2,34
D1G03-2	24548	0,223	16	2,43
D1G03-3	29426	0,267	17	2,54

Bu deney setine ait ortalama değerler sırasıyla 25669 N, 15,6 mm ve 2,44 (süneklik katsayısı) olarak belirlenmiştir. Kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkileri referans numuneler ile birlikte Şekil 3.46.'da sunulmuştur.



Şekil 3.46. D1R00 ve D1G03 setlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.47.'de referans numuneler ile Tip S sıva ve Tip T sıva yardımıyla güçlendirilen numunelere ait kuvvet-yer değiştirme ilişkileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.47. D1R00, D1G02 ve D1G03 setlerinin karşılaştırılması

Güçlendirilmiş numunelere ait maksimum kesme kuvveti ve dolayısıyla kayma dayanımı değerleri referans numunelere kıyasla dikkat çekici seviyede artış gösterirken, deprem kumaşının beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı sıva ile yapıştırıldığı D1G02 numunelerinde bu artış genişletilmiş cam kürecik esaslı sıva kullanılması durumuna kıyasla daha fazladır.

3.5.2.5. D1G04-S kodlu numunelerin test edilmesi

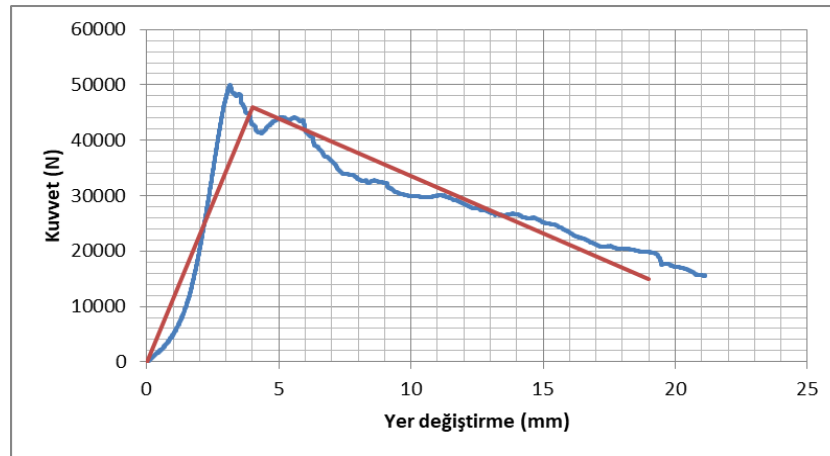
Deneysel çalışmanın bu aşamasında beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı bağlayıcı sıva ile alkali dirençli cam içeren deprem kumaşı birlikte kullanılarak güçlendirilen numuneler test edilmiştir. Güçlendirme işlemi çift taraflı olup, sıva kalınlığı 2 cm olacak şekilde uygulama yapılmıştır. Bu seriye ait numuneler sırasıyla D1G04-S-1, D1G04-S-2 ve D1G04-S-3 olarak isimlendirilmiştir.

Bu seriye ait ilk numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü Şekil 3.48.'de verildiği gibidir.



Şekil 3.48. DIG04-S-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

DIG04-S-1 kodlu numuneye ait deney yaklaşık 15 dakika sürmüştür ve ilk çatlaklar yük 48000 N civarındayken sağ ve sol altta derz başlangıç noktalarında meydana gelmiştir. Kesme kuvveti $F_{max}=49978$ N değerine ulaştıktan sonra yükte ani bir düşüş olmuş ve çatlak genişlikleri artmaya başlamıştır. Ortadaki tuğla düzlemi içerisinde aşağı doğru kaymış, çift yüzeyli güçlendirme uygulaması sebebiyle orta tuğlada herhangi bir dönme meydana gelmemiştir. Numuneye ait kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.49.'da verilmiştir.



Şekil 3.49. DIG04-S-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

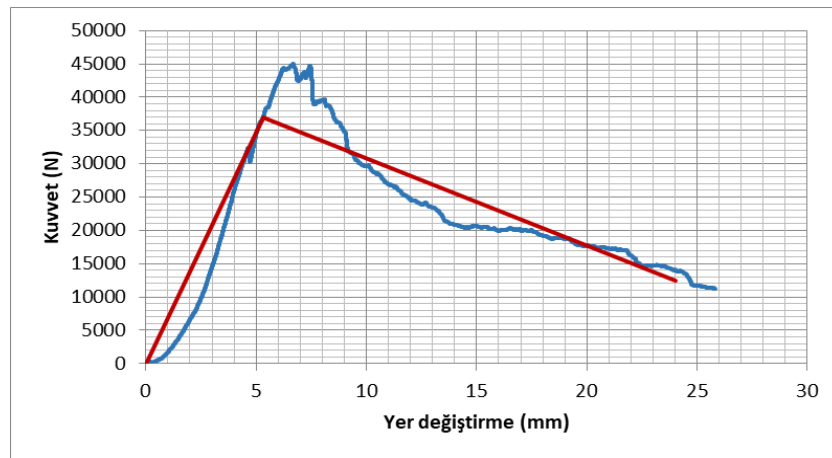
Burada maksimum kesme kuvveti değerine karşılık gelen kayma gerilmesi $f_v=0,454$ MPa olarak belirlenmiştir. Numuneye ait yaklaşık elastoplastik kuvvet-yer değiştirme ilişkisinden hareketle süneklik katsayısı $\mu=4,75$ olarak hesaplanmıştır.

Benzer şekilde D1G04-S-2 numunesi için deney yapılmış ve numunenin deney başlangıcı ve sonundaki durumu Şekil 3.50.'de verilmiştir.



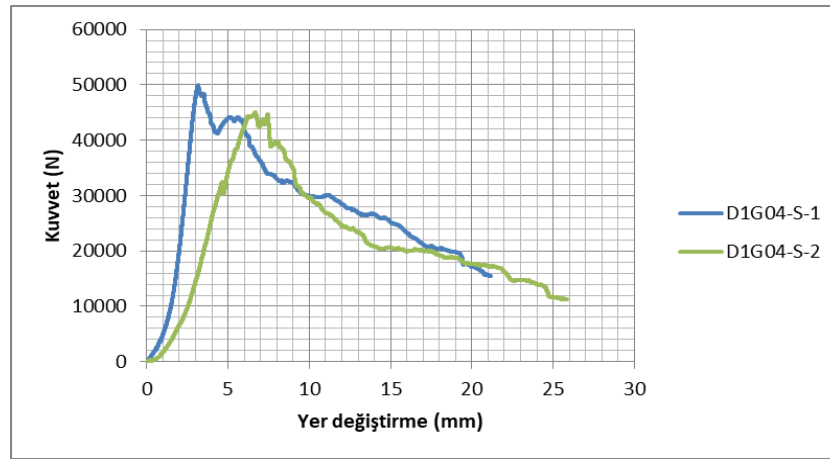
Şekil 3.50. D1G04-S-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Burada gözlemlenen davranış biçimi D1G04-S-1 nolu numuneye oldukça benzerdir. Elde edilen maksimum kesme kuvveti $F_{max}=45100$ N, bu kuvvete karşılık gelen kayma gerilmesi değeri ise $f_v=0,409$ MPa'dır.



Şekil 3.51. D1G04-S-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Çizilen eş değer kuvvet-yer değiştirme ilişkisinden hareketle numunenin süneklik kapasitesi $\mu=4,53$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.51.). Bu seriye ait üçüncü deney, numunenin taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti değerinin cihazın düşey kuvvet kapasitesini aşması sebebiyle neticelendirilemeden başarısızlıkla sonuçlanmış, ilgili numuneye ait bir kuvvet-deplasman ilişkisi elde edilememiştir. Bu sebeple deney sonuçları D1G04-S-1 ve D1G04-S-2 numuneleri için karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 3.52.).



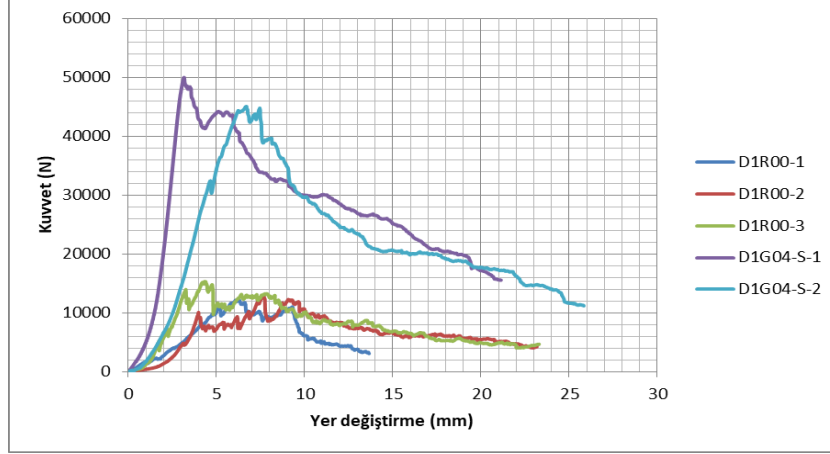
Şekil 3.52. D1G04-S setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

Bu deney seti için test sonuçlarından elde edilen bazı büyüklükler Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. D1G04-S seti için hesaplanan mekanik büyüklükler

Numune İsmi	F_{max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ
D1G04-S-1	49978	0,454	19	4,75
D1G04-S-2	45100	0,409	24	4,53

Tip S sıva ve deprem kumaşının numunenin çift yüzeyine sıva kalınlığı 1 cm olacak şekilde uygulanmasıyla yapılan güçlendirme işleminden elde edilen ortalama değerler kesme kuvveti için 47539 N, deplasman için 21,5 ve süneklik katsayısı için 4,64 olarak hesaplanmıştır. Bu deney setinin referans numuneler ile karşılaştırıldığı Şekil 3.53.'den anlaşılacağı üzere çift taraflı güçlendirme işlemi kesme kuvveti ve süneklik kapasitesine büyük ölçüde katkı sağlamıştır.



Şekil 3.53. D1R00 ve D1G04-S deney setlerinin karşılaştırılması

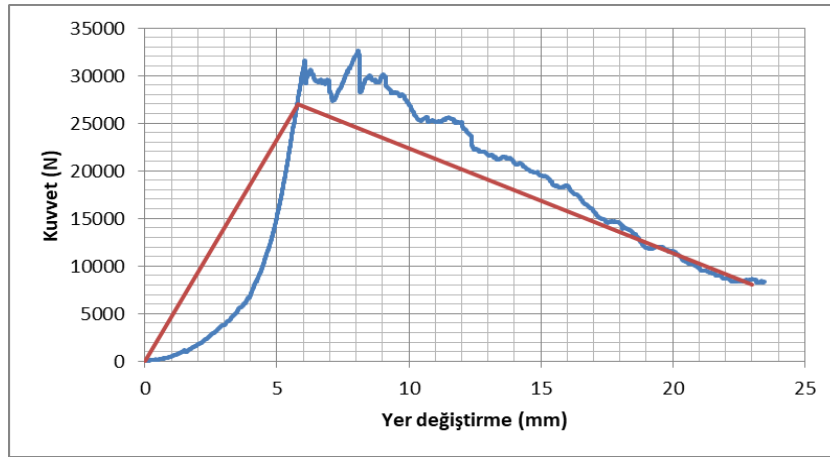
3.5.2.6. D1G04-T kodlu numunelerin test edilmesi

Burada genişletilmiş cam kürecik içeren yapıştırma sıvası yardımıyla numune yüzeyine çift taraflı uygulanan deprem kumaşının mekanik davranışa etkisi test edilmek istenmiştir. Sıva kalınlığı her bir yüzeyde 1 cm olacak şekilde üretilen numuneler sırasıyla D1G04-T-1, D1G04-T-2 ve D1G04-T-3 olarak isimlendirilmiştir. Bu seriye ait ilk numunenin yükleme öncesi ve sonrası durumu Şekil 3.54.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.54. D1G04-T-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

D1G04-T-1 nolu numune üzerinde gerçekleştirilen deney yaklaşık 13 dakika sürmüş ve ilk gözle görülen çatlak 31000 N mertebelerinde numunenin her iki yüzeyinde olmak üzere sağ ve sol alt derz başlangıcında neredeyse eş zamanlı meydana gelmiştir. Güçlendirme işleminin simetrik yapılması, orta tuğlanın düşeyde dönmesini engellemiş, aşağı doğru kayma davranışı doğrusal olacak şekilde gerçekleşmiştir. Zamanla artan yük ile numune yüzeyindeki sıvada kopmalar meydana gelmiş, ancak deprem kumaşı numune yüzeyinden ayrılmamıştır. Elde edilen kuvvet-deplasman ilişkisinden numunenin taşıyabildiği maksimum kesme kuvveti, $F_{max}=32611$ N ve bu değere karşılık gelen yer değiştirme miktarı 8,1 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.55.).



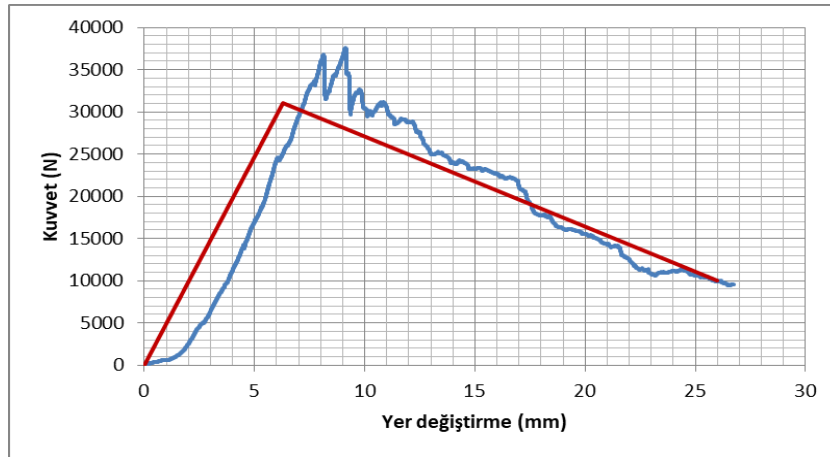
Şekil 3.55. D1G04-T-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Kayma gerilmesi değeri $f_v=0,296$ MPa'dır. Ortada bulunan tuğla birim, derz düzleminden büyük oranda ayrıldığında (numune göçme moduna geçtiğinde) kenar tuğlalara nispeten düşey ötelenme miktarı ölçülmüş ve bu değer 23 mm civarında olduğu saptanmıştır. Deney sonrası elde edilen zarf eğrisinin idealleştirilmesiyle süneklik katsayısı $\mu=3,97$ olarak hesaplanmıştır. Bu seriye ait ikinci numune de (D1G04-T-2) benzer şekilde test edilmiş ve numunenin kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi kaydedilmiştir. Oluşan çatlak mekanizması ve göçme modu bakımından ilk numune ile benzer davranış gösteren bu örnek (Şekil 3.56.) için maksimum kesme kuvveti değeri 37544 N olarak saptanmıştır. Bu değere karşı gelen kayma gerilmesi miktarı ise 0,34 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.56. DIG04-T-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Deney sonucunda elde edilen kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin idealleştirilmesiyle (Şekil 3.57.) süneklik katsayısı hesaplanmış ve bu değer yaklaşık $\mu=4,13$ olduğu bulunmuştur. Üçlü numune dayanımını büyük ölçüde yitirdiği ve göçme moduna ulaştığı an, ortadaki yığma birimin yaptığı yer değiştirme miktarının 26 mm civarında olduğu kaydedilmiştir.



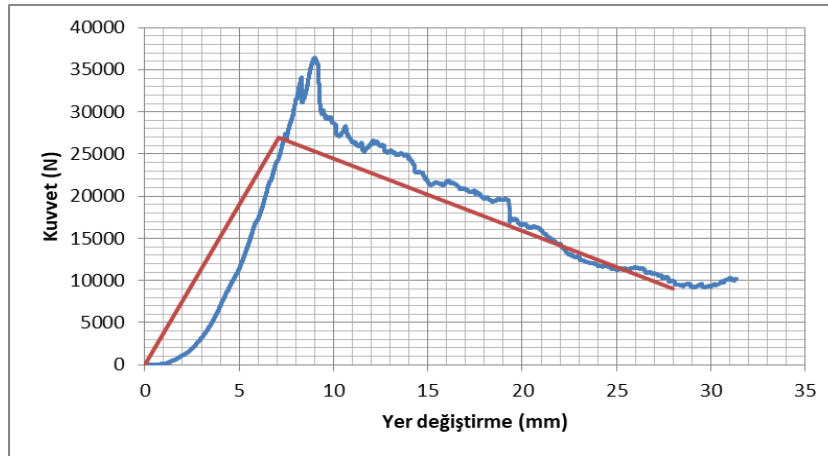
Şekil 3.57. DIG04-T-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Deney setine ait son numunenin yükleme öncesi ve sonrası görünümü aşağıda verildiği gibidir (Şekil 3.58.). Burada artan yükleme etkisiyle aderans kaybolmuş ve yapıştırma sıvası, numunenin her iki tarafında da sağ ve sol tuğla yüzeyinden deprem kumaşıyla birlikte ayrılmıştır.



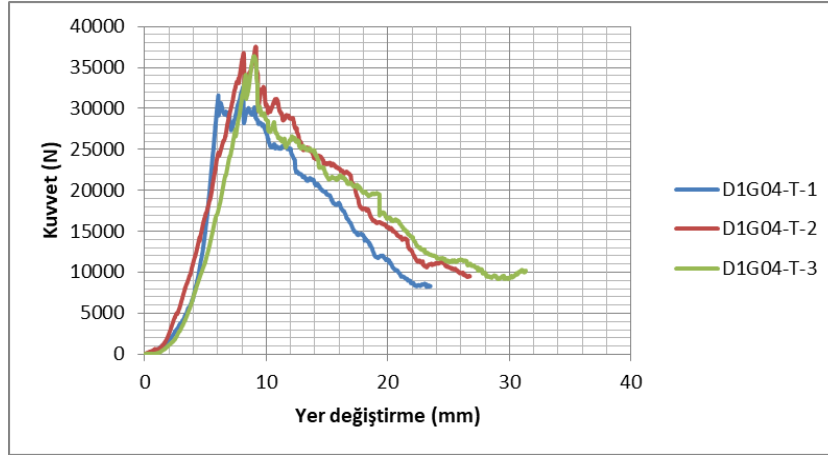
Şekil 3.58. D1G04-T-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Ölçülen maksimum kesme kuvveti değeri $F_{max}=36394$ N olup, bu değere karşı gelen kayma gerilmesi miktarı $f_v=0,330$ MPa'dır. Numune ortasındaki yığıma elemanın düşey deplasman değeri 28 mm'ye ulaştığında derz düzleminden büyük oranda ayrıldığı görülmüş ancak deprem kumaşının enerji yutma kapasitesini artırması sebebiyle ani bir göçme meydana gelmeden numune hasar almaya ve dolayısıyla mevcut enerjisi sönmeye devam etmiştir. Kuvvet-deplasman eğrisinin idealleştirilmesiyle (Şekil 3.59.) süneklik katsayısı $\mu=4,0$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.59. D1G04-T-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Bu seriye ait tüm numunelerin maksimum kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkileri karşılaştırılmalı olarak Şekil 3.60.'da verilmiştir. Test edilen üç numune de özellikle lineer bölgede oldukça benzer davranış sergilemiştir.



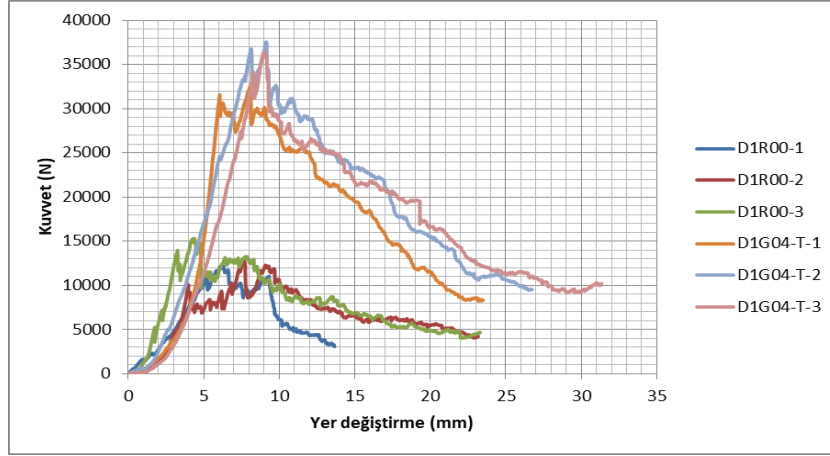
Şekil 3.60. D1G04-T setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

D1G04-T seti için hesaplanan bazı mekanik büyüklükler Tablo 3.10.'da verilmiştir.

Tablo 3.10. D1G04-T seti için hesaplanan mekanik büyüklükler

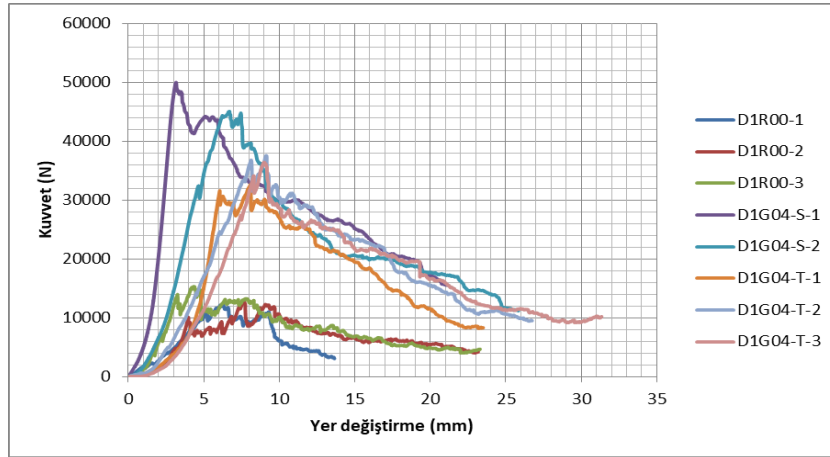
Numune İsmi	F_{max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ
D1G04-T-1	32611	0,296	23	3,97
D1G04-T-2	37544	0,341	26	4,13
D1G04-T-3	36394	0,330	28	4,00

Burada hesaplanan kesme kuvvetinin ortalama değeri 35516 N iken deplasman için bu değer 25.6 mm ve süneklik katsayısı için 4.03 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.61.'de genleştirilmiş cam kürecik esaslı 1 cm kalınlığındaki sıva yardımıyla numune yüzeyine yapıştırılan deprem kumaşının kayma dayanımını üzerindeki etkisi kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi bakımından kontrol grubu numuneleri ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.61. D1R00 ve D1G04-T deney setlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.62.'de ise hem genişirilmiş cam kürecik esaslı sıva yardımı ile hem de beyaz çimento ve doğal su kireci içeren sıva ile güçlendirilen (deprem kumaşlı) numunelerin kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Tek taraflı uygulamaya benzer şekilde burada da Tip S sıva daha iyi bir performans göstermiştir.



Şekil 3.62. D1R00, D1G04-T ve D1G04-S deney setlerinin karşılaştırılması

3.5.3. Deney II grubuna ait ana deneyler

Bu başlık altında 2 farklı deney seti bulunmaktadır (bkz. Tablo 3.2.). Her bir deney setinde 3 tane özdeş örnek olmak üzere toplamda 6 adet numune iki eksenli gerilme altında test edilmiştir.

3.5.3.1. D1R01-Y kodlu numunelerin test edilmesi

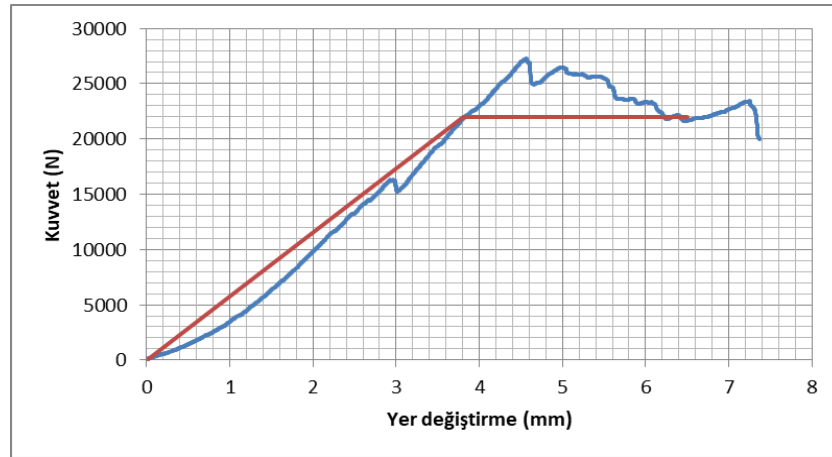
D1R01- Y seti, güçlendirilmemiş kum sıvalı numuneleri ifade etmektedir. Ancak burada numuneler yatay yönde 0,2 MPa değerinde bir gerilmeye maruz bırakılmışlardır. Bu sette bulunan örnekler sırasıyla D1R01-Y-1, D1R01-Y-2 ve D1R01-Y-3 olarak isimlendirilmiştir. Öncelikle numunelerin konuşlandırılacağı 230x135x35 mm boyutlarındaki iki adet mesnet levhası cihaza yerleştirilmiştir. Daha sonra üçlü numunenin mesnetlere oturduğu alt yüzeyleri ile çelik levhalara dayandığı yan yüzeyleri üretim kaynaklı olan şekil problemlerini en aza indirmek için zımparalanmıştır. Numune, mesnet levhalarının üzerine oturtulduktan sonra 380x370x10 mm boyutlarındaki iki adet çelik levha, numunenin sağ ve sol tarafına yerleştirilmiştir. Burada, numune ile mesnet levhası ve kenar levhalar arasında kurşun plakalar kullanılarak, numunenin pürüzlü yüzeyinden ötürü oluşabilecek düzensiz gerilme yığılmaları engellenmek istenmiştir. Transmisyon millere yapıştırılan gerinim ölçer pullar yardımıyla 0,2 MPa'lık gerilme değerine kadar sıkıştırılan numunenin orta nokta deplasmanını ölçebilmek amacıyla orta tuğlanın ön yüzeyine plastik bir eleman yapıştırılmış ve mitutoyo adı verilen yer değiştirme ölçen bir cihaz bu cisim üzerine sabitlenmiştir (Şekil 3.63.). Benzer şekilde kenar tuğla üzerine sabitlenen bir başka mitutoyo vasıtasıyla orta nokta ve kenar nokta arasındaki görelî ötelenmeler incelenerek, orta noktaya ait net yer değiştirme miktarına bakılmıştır. Deney başlamadan önce I. grup ana deneylerinde olduğu gibi yaklaşık 50 N mertebelerinde düşey yönde itilen numune bir ön sıkıştırmaya maruz bırakılarak numunenin mevcut deney düzeneğine tam olarak oturtulması ve ideal deney koşullarının oluşturulması amaçlanmıştır.

Yükleme hızı 1,5 mm/dk olan düşey yük kontrollü silindir vasıtasıyla kesme kuvvetine maruz bırakılan D1R01-Y-1 kodlu numuneye ait deney öncesi ve sonrası durumları Şekil 3.63.'te verilmiştir.



Şekil 3.63. D1R01-Y-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Burada, numune arka yüzeyinde kırılmalar ve kopmalar meydana gelmiştir. Elde edilen maksimum kesme kuvveti $F_{max}=27234$ N'dur. Numuneye ait kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.64.'de verilmiştir.



Şekil 3.64. D1R01-Y-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

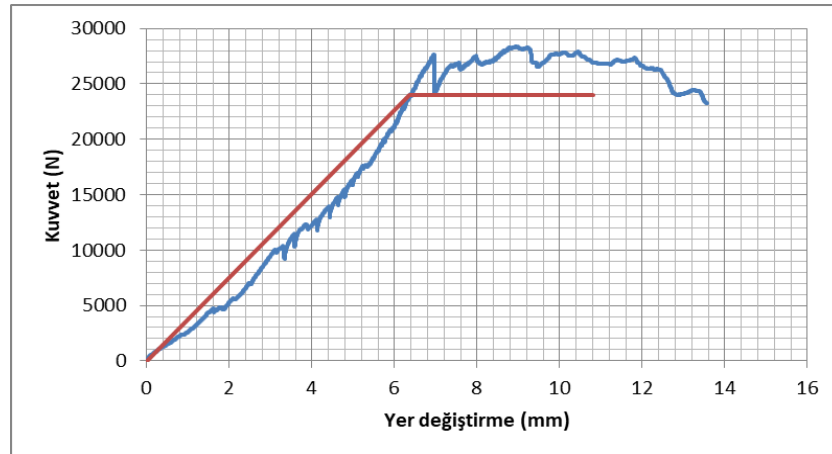
Bu numune için hesaplanan kayma gerilmesi değeri $f_v=0,247$ MPa ve süneklik katsayısı $\mu=1.68$ 'dir. Numune yüzeyinde kılcal çatlaklar pek gözlenmemiş, aniden göçme mekanizmasına ulaşılarak deney sonlanmıştır.

Bu sete ait ikinci numune için deney öncesi ve sonrası görünüm Şekil 3.65.'de verilmiştir.



Şekil 3.65. D1R01-Y-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

D1R01-Y-2 örneğine ait maksimum kesme kuvveti değeri $F_{max}=28389$ N olarak okunmuş ve bu kuvvete karşı gelen kayma gerilmesi miktarı $f_v=0,258$ MPa olarak hesaplanmıştır. Burada da numune yüzeyinde enerjinin sönümlenmesini sağlayan kılcal çatlaklar dikkate değer şekilde oluşmamış, numunenin sol üst kısmında ve arka tarafında büyük kırılmalar ve geniş çatlaklar görülmüştür. Numune için elde edilen kesme kuvveti-deplasman eğrisi Şekil 3.66.'da verilmiştir. Bu eğrinin idealleştirilmesi ile oluşturulan eş değer eğri yardımıyla süneklik katsayısı $\mu=1,70$ olarak belirlenmiştir.



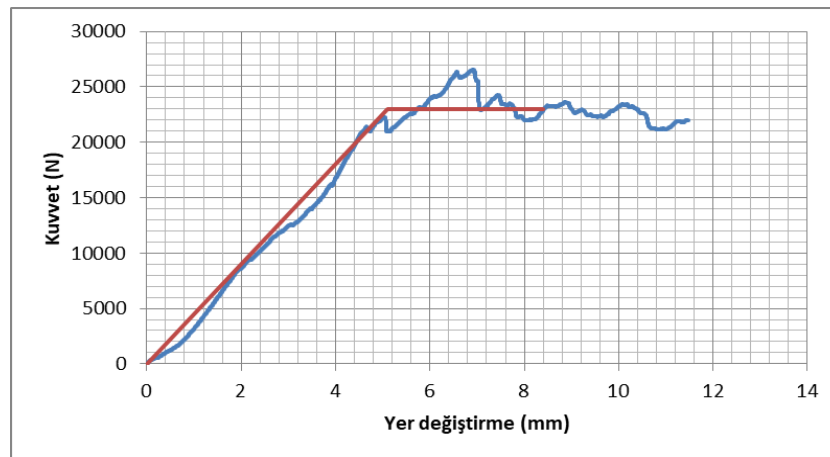
Şekil 3.66. D1R01-Y-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

D1R01-Y-3 numunesinin yükleme öncesi ve sonrası görünümü Şekil 3.67.'de gösterilmiştir.



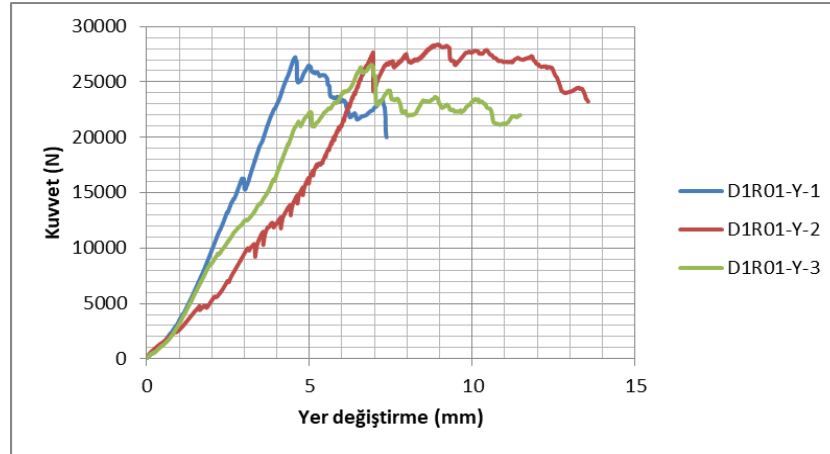
Şekil 3.67. D1R01-Y-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Aynı sette bulunan diğer iki numuneyle benzer davranış gösteren son numuneyle ait maksimum kesme kuvveti $F_{max}=26536$ N olarak ölçülmüştür. Hesaplanan kayma gerilmesi değeri ise $f_v=0,241$ MPa'dır. Numuneyle ait kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.68.'de verilmiştir.



Şekil 3.68. D1R01-Y-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Elde edilen bilineer eğriden hareketle süneklik katsayısı $\mu=1,65$ olarak bulunmuştur. Bu sete ait üç numune için de kuvvet-yer değiştirme eğrileri karşılaştırmalı olarak aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.69.).



Şekil 3.69. D1R01-Y setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

Kum sıvalı numunelere ait maksimum kesme kuvveti değerleri oldukça benzerlik gösterirken elastik kabul edilen bölgedeki davranışlarında farklılıklar mevcuttur. Deney I grubunda bulunan D1R01 ile Deney II grubunda bulunan D1R01-Y setlerine ait hesaplanan mekanik büyüklükler Tablo 3.11.'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

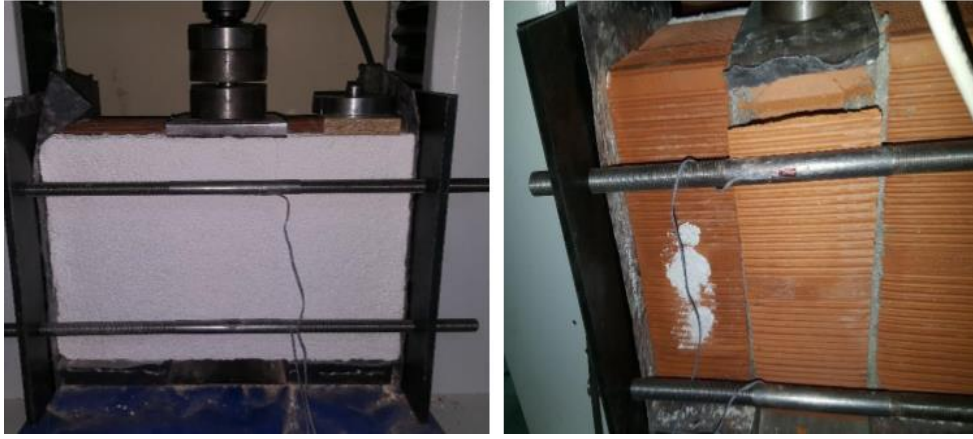
Tablo 3.11. D1R01 ve D1R01-Y setleri için hesaplanan mekanik büyüklükler

Numune İsmi	F_{max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ
D1R01-Y-1	27234	0,247	6,20	1,68
D1R01-Y-2	28389	0,258	10,2	1,70
D1R01-Y-3	26536	0,241	8,30	1,65
D1R01-1	17756	0,161	5,90	1,48
D1R01-2	28700	0,260	6,00	1,58
D1R01-3	29246	0,265	8,40	1,66

Burada D1R01-Y seti için elde edilen ortalama kesme kuvveti değeri 27386 N'dur. Orta tuğla maksimum deplasman değerinin üç numune için ortalama değeri yaklaşık 8 mm ve süneklik katsayısı ise 1,68'dir. Bu değerler D1R01 grubu ile karşılaştırıldığında D1R01-1 numunesinin maksimum kesme kuvveti değerinin geri kalan 5 adet kum sıvalı numuneye göre çok düşük kaldığı görülmektedir. Bu durum Denklem 2.1 ile ifade edilebilir. Basınç gerilmesi değerinin artması okunan kesme kuvveti değerini de artırır. Dolayısıyla bu numunenin aynı sette bulunan diğer numunelere kıyasla daha az sıkıştırılmış olması ihtimali, okunan kesme kuvveti değerinin daha küçük olmasını açıklayıcı bir durumdur.

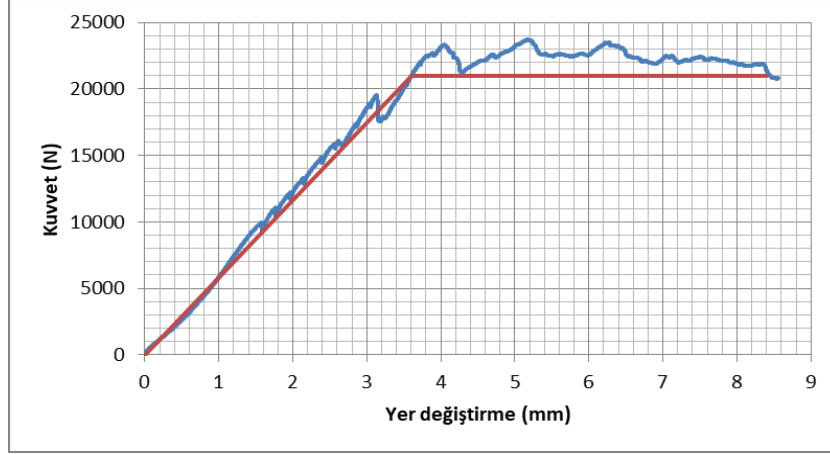
3.5.3.2. D1G03-Y kodlu numunelerin test edilmesi

Araştırmanın bu bölümünde geliştirilmiş cam kürecik içeren Tip T sıva ve deprem kumaşı ile tek taraflı güçlendirilmiş numuneler, I. ana deneylerden; yatay gerilmeye maruz bırakılmaları bakımından farklı olarak test edilmiştir. Bu sete ait ilk numunenin yükleme öncesi ve sonrası durumu Şekil 3.70.'de verilmiştir.



Şekil 3.70. D1G03-Y-1 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Bu numuneye ait maksimum kesme kuvveti değeri $F_{max}=23711$ N olarak ölçülmüştür. Tek taraflı güçlendirme sebebiyle arka tuğlada kırılmalar meydana gelmesine rağmen numune ön yüzeyinde büyük hasarlar gözlenmemiştir. Artan yük etkisiyle oluşan kılcal çatlakların genişlemesiyle numune dayanımını yitirmiş ve göçme moduna geçmiştir. Hesaplanan kayma gerilmesi değeri $f_v=0,215$ MPa ve süneklik katsayısı ise $\mu=2,23$ 'tür. Elde edilen kuvvet-yer değiştirme ilişkisi Şekil 3.71.'de verilmiştir.



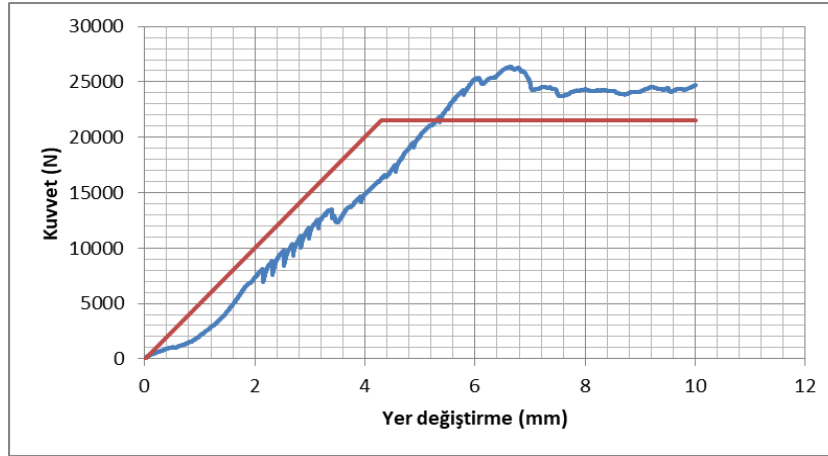
Şekil 3.71. D1G03-Y-1 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Serinin ikinci numunesine ait deney öncesi ve sonrası görünüm Şekil 3.72.'de verilmiştir.



Şekil 3.72. D1G03-Y-2 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Bu numune için ölçülen $F_{max}=26342$ N'dur. Bu değere karşılık gelen kayma gerilmesi miktarı $f_v=0,239$ MPa olarak hesaplanmıştır. Maksimum kesme kuvveti-kayma gerilmesi ilişkisi Şekil 3.73.'te ifade edilmiştir. Süneklik katsayısı 2,33 olarak belirlenmiştir.



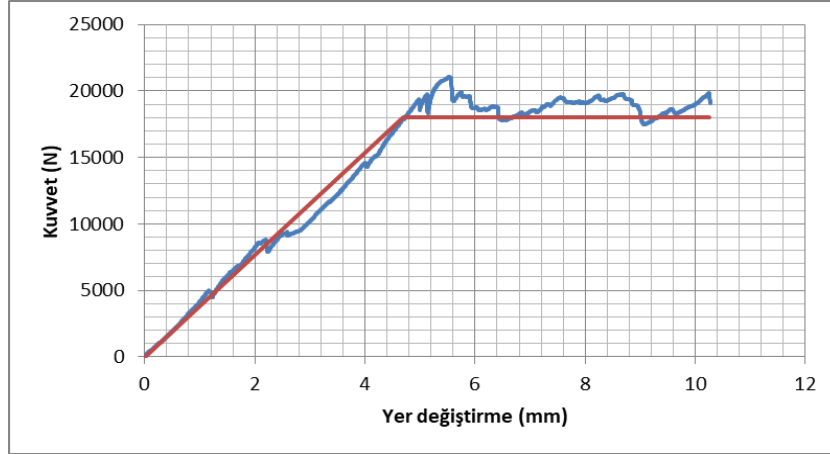
Şekil 3.73. D1G03-Y-2 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Deney setine ait son numunenin yükleme öncesi ve sonrası görünümü Şekil 3.74.'de verilmiştir.



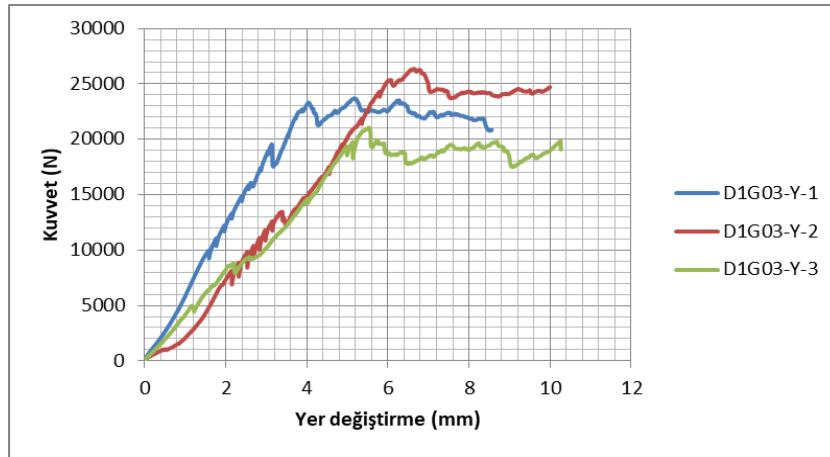
Şekil 3.74. D1G03-Y-3 kodlu numunenin deney öncesi ve sonrası görünümü

Numune n yüzeyinde büyük kırılmalar ve çatlaklar gözlenmemiş, sağ alt derz düzleminde yukarıya doğru ilerleyen çatlaklar oluşmuştur. Asimetrik güçlendirme sebebiyle arka tuğlada kopmalar meydana gelmiş ve orta tuğla düzleminde arkaya doğru hareket etmek suretiyle dnmştir. Kaydedilen maksimum kesme kuvveti-deplasman ilişkisi Şekil 3.75.'de verilmiştir.



Şekil 3.75. D1G03-Y-3 numunesine ait kesme kuvveti-yer değiştirme ilişkisi

Bu numune için elde edilen kesme kuvveti değeri $F_{max}=21938$ N ve buna karşılık gelen kayma gerilmesi büyüklüğü $f_v=0,199$ MPa olarak belirlenmiştir. Çizilen eş değer eğri yardımıyla süneklik katsayısı $\mu=2,20$ olarak hesaplanmıştır. Serinin tüm numunelerine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkileri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.76.'da verilmiştir.



Şekil 3.76. D1G03-Y setine ait kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

Bu deney seti için hesaplanan bazı büyüklükler Tablo 3.12.'de verilmiştir.

Tablo 3.12. D1G03 ve D1G03-Y setleri için hesaplanan mekanik büyüklükler

Numune İsmi	F_{\max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ
D1G03-Y-1	23711	0,215	8,50	2,23
D1G03-Y-2	26342	0,239	10,0	2,33
D1G03-Y-3	21938	0,199	10,4	2,20
D1G03-1	23032	0,209	14,0	2,34
D1G03-2	24548	0,223	16,0	2,43
D1G03-3	29426	0,267	17,0	2,54

D1G03-Y setine ait ortalama değerler kesme kuvveti için 23997 N, deplasman için 9,63 mm ve süneklik katsayısı için 2,2 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca burada numunelerin yaptığı nihai deplasmanlar açısından da birtakım farklılıklar gözlenmiştir. Yanal gerilme etkisinde sıkıştırılan numunelerde ortalama deplasman 9 mm civarında iken D1G03 setinde bu değer 15 mm civarındadır. Ancak akma noktasına karşılık gelen elastik deplasman değerleri incelendiğinde D1G03 setinde bu değer ortalama 6 mm iken D1G03-Y setinde ise 4,3 mm mertebelerindedir. Dolayısıyla süneklik katsayıları arasında göze çarpan bir farklılık ortaya çıkmamıştır.

Her bir deney seti için elde edilen kayma gerilmelerinin ortalama değerleri Denklem 3.2 ile hesaplanmış ve sonuçlar %20 azaltılarak karakteristik kayma dayanımları belirlenmiştir (Denklem 3.3).

$$f_{vm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{vn}}{n} \quad (3.2)$$

$$f_{vk} = 0,8f_{vm} \quad (3.3)$$

Test edilen tüm numuneler için ortalama süneklik katsayıları, kayma dayanımları vb. mekanik büyüklükler Tablo 3.13.'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 3.13. Tüm deneylere ait sonuçların karşılaştırılması

Numune İsmi	F_{max} (N)	f_v (MPa)	u_{mid} (mm)	μ	μ_{ort}	f_{vm} (MPa)	f_{vk} (MPa)
D1R00-1	12200	0,110	7,00	1,23			
D1R00-2	12920	0,117	8,00	1,33	1,400	0,122	0,097
D1R00-3	15316	0,138	8,20	1,64			
D1R01-1	17756	0,161	5,90	1,48			
D1R01-2	28700	0,260	6,00	1,58	1,573	0,229	0,183
D1R01-3	29246	0,265	8,40	1,66			
D1G02-1	31076	0,282	15,0	2,50			
D1G02-2	41509	0,368	16,0	2,71	2,580	0,307	0,246
D1G02-3	29912	0,271	17,0	2,53			
D1G03-1	23032	0,209	14,0	2,34			
D1G03-2	24548	0,223	16,0	2,43	2,436	0,233	0,186
D1G03-3	29426	0,267	17,0	2,54			
D1G04-S-1	49978	0,454	19,0	4,75			
D1G04-S-2	45100	0,409	24,0	4,53	4,640	0,432	0,345
D1G04-T-1	32611	0,296	23,0	3,97			
D1G04-T-2	37544	0,341	26,0	4,13	4,033	0,322	0,258
D1G04-T-3	36394	0,330	28,0	4,00			
D1R01-Y-1	27234	0,247	6,20	1,68			
D1R01-Y-2	28389	0,258	10,2	1,70	1,676	0,249	0,199
D1R01-Y-3	26536	0,241	8,30	1,65			
D1G03-Y-1	23711	0,215	8,50	2,23			
D1G03-Y-2	26342	0,239	10,0	2,33	2,253	0,218	0,174
D1G03-Y-3	21938	0,199	10,4	2,20			

Tablo 3.13.'ten anlaşılacağı üzere güçlendirme işlemi; uygulanan sıvanın türü, güçlendirmenin tek veya çift taraflı yapılması parametrelerine bağlı olarak numunelerin kayma dayanımı ve sünekliğini dikkat çekici düzeyde arttırmıştır. Deprem kumaşı kullanılmadan üretilen referans numuneler ve kum sıvalı numuneler ise söz konusu parametreler bakımından diğer deney numunelerinin çok gerisinde kalmışlardır. Deney II grubunda kullanılan farklı test ekipmanı ile eşit sıkıştırıldığı varsayılan numunelerin, bu varsayımın doğrulanması durumunda bilhassa kum sıvalı numunelerde hesaplanan kayma dayanımı sonuçlarını birbirine oldukça yakınsattığı görülmektedir. Deneysel çalışmanın sonuçları oransal olarak karşılaştırılmış ve Bölüm 4.'te sunulmuştur.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yığma türden yapılardaki duvarları temsil etmek amacıyla hazırlanan üçlü tuğla numunelerin, özel olarak geliştirilmiş cam lif esaslı deprem kumaşı ile güçlendirilerek sismik kapasitesinin artırılmasının amaçlandığı bu deneysel çalışmada 24 adet numune; her biri üç özdeş örnek içerecek şekilde 8 farklı deney seti altında incelenmiştir. Deprem kumaşının numune yüzeyine yapıştırılmasını sağlayan yerli ve yabancı üretim iki özel içerikli sıva ve bu yapıştırıcı sıvalar yardımıyla sismik kumaşın numunenin tek veya çift yüzeyine uygulanması, deneysel çalışmanın değişkenleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmanın küçük bir bölümünde farklı bir test düzeneği kullanılmış ve Deney I grubunda dikkate alınan “numunelerin eşit basınç gerilmesi etkisinde olması” kabulünün gerçekten sağlanması durumunda her bir numune için elde edilen kayma dayanımı değerlerinin birbirine ne derece yakınsadığı araştırılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

a. Gevrek yapı malzemeleri olan düşey boşluklu tuğla elemanlar ile örülen referans numunelerin yatay kuvvet etkisinde kayma dayanımları ve süneklik kapasiteleri, deprem kumaşı ve özel sıvaların kombinasyonu olan güçlendirme sistemi ile takviye edilmiş numunelere kıyasla oldukça düşüktür. Kontrol grubu numuneleri göçme moduna aniden ulaşmış ve plastik şekil değiştirmelerin çok kısıtlı olduğu gözlemlenmiştir. Tuğla elemanların basınç dayanımları satış yapan ilgili firmaların kataloglarında 15 MPa’ya varan mertebelerde ifade edilse de, bu gevrek malzemeler kendi içerisinde oldukça tutarsızlık göstermektedir. Ayrıca kullanılan tuğla ve derz harcına dair basınç deneyleri yapılmasına rağmen; ilgili elemanların gerçek basınç dayanımlarının, ön deneysel çalışmalardan elde edilen ortalama dayanım değerlerinden oldukça farklı olması olasıdır. Bu durum aynı deney seti içerisinde eşit koşullarda test edilen numuneler arasındaki davranış farkını açıklamaktadır.

b. Deprem kumaşı olmadan, kum sıva ile sıvanarak üretilen numunelerin kayma dayanımı referans numunelere kıyasla daha yüksektir. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde ifade edilen 1:4 çimento/kum oranı ile hazırlanan sıva, küçük ölçekli tuğla numunelerin kaymaya karşı dayanımını yaklaşık 2 kat arttırmasına rağmen süneklik kapasitesinde dikkate değer herhangi bir artış sağlamamıştır. Bu sonuç, zaten gevrek olan tuğla birimler ve süneklikten yoksun derz harcı kombinasyonunun bir araya gelmesi kaynaklı olup şaşırtıcı değildir.

c. Alkali dirençli cam içeren sismik tekstil malzemesinin, 2 cm kalınlığında uygulanan beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı özel sıva (Tip S) yardımıyla numunelerin tek yüzeyine yapıştırılması ile hazırlanan D1G02 test setinde kayma dayanımı referans numunelere kıyasla 1,5 kat artmıştır. Süneklik kapasitesinde meydana gelen artış miktarı ise %85 civarındadır.

d. Deprem kumaşının genişletilmiş cam kürecik içeren özel sıva vasıtasıyla tek taraflı uygulanması durumunda kayma dayanımı kontrol grubuna kıyasla yaklaşık olarak iki katına çıkmış ve enerji tüketme kapasitesinde ise %70'lik bir artış gözlenmiştir.

e. Beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı özel sıva ile çift taraflı güçlendirilen numunelerin kayma dayanımı ve enerji yutma kapasiteleri yaklaşık olarak 3,5 katına çıkmıştır.

f. Genleştirilmiş cam kürecik içeren yapıştırma sıvasının deprem kumaşıyla kombinasyonundan oluşan güçlendirme sisteminin çift taraflı uygulanması, numunelerin sismik kayma mukavemetini %65 mertebelerinde iyileştirirken, süneklik kapasitesini ise yaklaşık 3 kat arttırmıştır.

g. Kum sıvalı ve genişletilmiş cam kürecik içeren sıva ile tek taraflı güçlendirilmiş deney setleri, değeri bilinen bir yatay gerilme etkisinde test edildiğinde, yatay gerilme miktarının bilinmediği duruma nazaran dikkat çekici seviyede farklı sonuçlar elde edilmemiştir. Ancak, Deney I ve Deney II gruplarında bulunan kum sıvalı

numunelerin maksimum kesme kuvvetleri incelendiğinde, ikinci grupta bu değerlerin birbirine daha yakın olduğu gözlenmiştir. Bu durum, kesme kuvveti etkisinde incelenen yığma duvar elemanlarının eşit miktarda yanal sıkıştırılması sonucunda maksimum kesme kuvveti değerlerinin birbirine yakınsadığını göstermiştir. Ayrıca bu basınç gerilmesi değeri arttıkça okunacak kesme kuvveti miktarının da artacağı bilindiğinden; maksimum kesme kuvveti aynı sette bulunan diğer iki numuneye göre oldukça düşük olarak belirlenen D1R01-1 kodlu numunenin cihaza yerleştirilirken D1R01-2 ve D1R01-3 kodlu numunelere kıyasla daha az sıkıştırıldığı sonucuna varılmıştır.

h. Deprem kumaşı ve özel içerikli iki farklı sıva ile oluşturulan güçlendirme sistemi kayma dayanımı ve süneklik parametrelerini arttırsa da bu durum beyaz çimento ve doğal su kireci esaslı sıvanın (Tip S) yapıştırıcı olarak kullanıldığı deney setlerinde daha dikkat çekici seviyededir. Söz konusu Tip S sıvanın ve genişletilmiş cam kürecik esaslı sıvanın (Tip T) numune yüzeylerine tek taraflı uygulandığı deney setlerinde Tip S sıva kayma dayanımında Tip T sıvaya kıyasla %30 daha fazla performans göstermiştir. Çift taraflı uygulamada da bu artış benzer şekilde tespit edilmiş olup %35 civarındadır.

1. Yerli üretim olan cam kürecik esaslı sıva, kayma dayanımını artırma noktasında Almanya'dan ithal edilen beyaz çimento esaslı sıvaya kıyasla %30 mertebelerinde daha düşük performans göstermesine rağmen; ısı, ses, nem yalıtımını ve yangına karşı dayanıklılığı arttırması gibi önemli özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Deprem kumaşının duvar yüzeylerine yapıştırılabilmesi için yerli üretim bir sıva kullanılarak yapıların deprem performansı iyileştirilebilirken aynı zamanda yapının çeşitli dış etkilere karşı dayanıklılığı arttırılacak ve yerli malzeme kullanımıyla dışa bağımlılık da azaltılabilecektir.

Yığma yapıların deprem etkisindeki davranışını iyileştirmeyi amaçlayan bu çalışma; taşıyıcı elemanlar olan duvarlara bir tür yakından ve lokal bir bakış olarak değerlendirilebilir. Hazırlanan üçlü tuğla numuneler yığma yapı duvarlarını bölgesel bir düzeyde temsil etmiş ve küçük ölçekli testler ile davranış incelenmiştir. Toplam

24 adet deney numunesinin kayma dayanımlarının belirlendiği bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, karmaşık yığma yapı davranışının yenilikçi yaklaşımlarla iyileştirilebileceğini ortaya koymuştur. Bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda, söz konusu yapıların deprem performansının arttırılabilmesi konusunda büyük ölçekli deneysel araştırmalar ile farklı türde malzemelerden yapılmış duvar elemanları test edilerek davranışın ne ölçüde değiştiği karşılaştırmalı olarak incelenebilir. Ayrıca deprem kumaşı duvar yüzeyine uygulanırken tüm yüzeye değil de parçalı şekilde uygulanması durumunda sonuçların nasıl değiştiği konusunda ekonomik çerçevede değerlendirmeler yapılarak tarihi miras olan bazı yığma yapıların gelecek nesillere aktarılabilmesi için optimum çözümler retiler.

KAYNAKLAR

- [1] Dolce, M., Kappos, A., Masi, A., Penelis, G., Vona, M., Vulnerability assessment and earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies. *Engineering Structures*, 28(3), 357-371, 2006.
- [2] Crowley, H., Colombi, M., Borzi, B., Faravelli, M., Onida, M., Lopez, M., Pinho, R., A comparison of seismic risk maps for Italy. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7(1), 149-180, 2009.
- [3] Lazzali, F., Bedaoui, S., Seismic performance of masonry buildings in Algeria. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, Vol.6, 2012.
- [4] Karababa, F. S., Pomonis, A., Damage data analysis and vulnerability estimation following the August 14, 2003 Lefkada Island, Greece, Earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(4), 1015-1046, 2011.
- [5] Russell, A. P., Ingham, J. M., Prevalence of New Zealand's unreinforced masonry buildings. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 43(3), 182, 2010.
- [6] TC. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, 2001, Bina Sayımı 2000, DİE Matbaası, Ankara, 236-238, 2001.
- [7] Karaşin, A. H., Karaesmen E., Bingöl depreminde meydana gelen yapısal hasarların irdelenmesi. *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*, 386-396, 2005.
- [8] Sevmiş, M., 25 Ocak 2005 Hakkari Depremi ön raporu. *Teknik Güç Dergisi*, 3, 2005.
- [9] Tokgöz, H., Can Ö., Dıştan perde duvarla güçlendirmede perde-hatıl birleşim yerlerine kullanılan bulon sayısının araştırılması. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 26(3), 649-656, 2011.

- [10] Oyuğ, R. A., 2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılarda gözlemlenen hasarlar. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2), 296-315, 2017.
- [11] Sorrentino, L., Cattari, S., da Porto, F., Magenes, G., Penna, A., Seismic behaviour of ordinary masonry buildings during the 2016 central Italy earthquakes. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-25, 2018.
- [12] Alavi, E., Mahootchian, A., Yadegari, S., Shamsodin, M., Nouri, M. B., Ordoubadi, B., Report of M7.3 Ezgele, Kermanshah, Iran Earthquake on November 12, 2017, 2018.
- [13] Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Karlos, K., Papathanasiou, M., Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading. Materials and Structures, 40(10): 1081-1097, 2007.
- [14] Rizzo, S., Triplet shear tests on pumice blocks BLG19 with and without the seismic retrofitting system Röfix SismaCalce. Final Report, Department Reinforced Concrete, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany, 2015.
- [15] Wallner, C., Erdbebengerechtes verstärken von mauerwerk durch faserverbundwerkstoffe experimentelle und numerische untersuchungen. Ph. D. Dissertation, Karlsruhe Institute of Technology, Germany, 2008.
- [16] Münich, J. C., Hybride multidirektionaltextilien zur erdbebenverstärkung von mauerwerk; experimente und numerische untersuchungen mittels eines erweiterten makromodells. Ph. D. Dissertation, Karlsruhe Institute of Technology, Germany, 2010.
- [17] Prota, A., Marcari, G., Fabbrocino, G., Manfredi, G., Aldea, C., Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementitious matrix-grid composites. Journal of Composites for Construction, 10(3): 223-233, 2006.
- [18] Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Papathanasiou, M., Karlos, K., Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: out-of-plane cyclic loading. Materials and Structures, 41(1): 143-157, 2008.
- [19] Arslan, M. E., Deprem kumaşıyla güçlendirilen çevrimsel yük etkisindeki dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2013.

- [20] Triantafillou, T. C., Strengthening of masonry structures using epoxy bonded FRP laminates. *Journal of Composites for Construction*, 2(2): 96-104, 1998.
- [21] Alcaino, P., Santa-Maria, H., Experimental response of externally retrofitted masonry walls subjected to shear loading. *Journal of Composites for Construction*, 12(5): 489-498, 2008.
- [22] Wei, C. Q., Zhou, X. G., Ye, L. P., Experimental study of masonry walls strengthened with CFRP. *Structural Engineering and Mechanics*, 25(6): 675-690, 2007.
- [23] El-Dakhkhni, W. W., Hamid, A. A., Hakam, Z. H. R., Elgaaly, M., Hazard migration and strengthening of unreinforced masonry walls using composites, *Composite Structures*, 73(4): 458-477, 2006.
- [24] Valluzzi, M. R., Tinazzi, D., Modena, C., Shear behaviour of masonry panels strengthened by FRP laminates, *Construction and Building Materials*, 16(7): 409-416, 2002.
- [25] Ehsani, M. R., Saadatmanesh, H., Velazquez-Dimas, J. I., Behaviour of retrofitted URM walls under simulated earthquake loading. *Journal of Construction*, 3(3): 134-142, 1999.
- [26] Özsaraç, S., Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların GFRP ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2008.
- [27] Öztaş, V., Yığma yapıların güçlendirilmesi ve bir yığma yapı örneğinde güçlendirme analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [28] Tetik, T., Tarihi yığma yapıların deprem performansı ve güçlendirme teknikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [29] DBYBHY, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [30] www.mimarsinan.gen.tr, Erişim Tarihi: 24.05.2018.
- [31] Batur, N., Yığma yapı tasarımı ve analizi. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2006.

- [32] Aköz, A. H., Deprem etkisi altındaki tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [33] Bayülke, N., Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, 2011.
- [34] Bayülke, N., Depremlerde hasar gören yapıların onarım ve güçlendirilmesi. İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir, 2001.
- [35] La Mendola, L., Accardi, M., Cucchiara, C., Licata, V., Nonlinear FE analysis of out-of-plane behaviour of masonry walls with and without CFRP reinforcement. *Construction and Building Materials*, 54, 190-196, 2014.
- [36] Milani, G., Fedele, R., Lourenço, P. B., Basilio, I., Experimental and numerical FE analyses of curved masonry prisms and arches reinforced with FRP materials. In: 9th International conference on structural analysis of monuments and historical constructions, SAHC 2014, Mexico City, Mexico, p. 1-12, 2014.
- [37] Lourenço, P. B., Computational strategies for masonry structures. Ph. D. Dissertation, University of Porto, Portugal, 1996.
- [38] Hickman, M. A., P. K. Basu., Stochastic multiscale characterization of short-fiber reinforced composites. *Technische Mechanik*, 36(1-2), 13-31, 2016.
- [39] Stoica, D., About masonry walls ductility capacities calculation. In: 3rd International conference on research and innovation in engineering, COMAT 2014, Braşov, Romania, 2014.
- [40] Magenes, G., Morandi, P., Penna, A., Enhanced safety and efficient construction of masonry structures in europe-d 7.1 c test results on the behaviour of masonry under static cyclic in plane lateral loads. Report ESECMaSE D.7, 2008.
- [41] Mezrea, P. E., Yılmaz, I., İspir, M., İlki, A., Tarihi tuğla duvarların tekstil donatılı harç (TRM) ile güçlendirilmesi. Dördüncü tarihi yapıların güçlendirilmesi ve geleceğe güvenle devredilmesi sempozyumu, İstanbul, 2013.
- [42] EN 1052-3, European norms for methods of test for masonry-Part 3: Determination of initial shear strength., 1996.
- [43] Lourenço, P. B., Barros, J. O., Oliveira, J. T., Shear testing of stack bonded masonry. *Construction and Building Materials*, 18, p. 125-132, 2004.

- [44] Oliveira, D. V. C., Experimental and numerical analysis of blocky masonry structures under cyclic loading. Ph. D. Dissertation, University of Minho, Portugal, 2003.
- [45] Beattie, G., Molyneaux, T. C. K., Gilbert, M., Burnett, S., Masonry shear strength under impact loading. In: 9th Canadian masonry symposium, Fredericton, NB, Canada, 2001.
- [46] Korany, Y., Drysdale, R., Rehabilitation of masonry walls using unobtrusive FRP techniques for enhanced out-of-plane seismic resistance. *Journal of Composites for Construction*, 10(3): 213- 222, 2006.
- [47] Istegun, B., Celebi, E., Triplet shear tests on retrofitted brickwork masonry walls. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, Vol.11, 2017.
- [48] Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A., Experimental evaluation of in-plane shear behaviour of masonry walls retrofitted using conventional and innovative methods. *Masonry International*, 21(1): 29, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Berna İSTEGÜN, 7 Temmuz 1993'de Şanlıurfa'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Cengiz Topel İlköğretim Okulu'nda tamamlayıp; 2010 yılında Şanlıurfa Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü Haziran 2015'de Onur Belgesi ile bitirdi. Aynı yılın Temmuz ayında Sakarya Üniversitesi Yapı Mühendisliği ve İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği yüksek lisans programlarına kabul edildi. 2016 yılı Ekim ayında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2018 yılı Haziran ayı itibariyle Sakarya Üniversitesi Yapı Mühendisliği programında yürüttüğü tez çalışmasını ve İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği programında ise ders aşamasını tamamlayan yazarın uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan üç adet çalışması (ISBS 2017 Dubai, ICUEEUS 2017 Prag ve ISHAD 2018 Sakarya) bulunmakta ve halen akademik çalışmalarını devam ettirmektedir.